



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTE E
GESTÃO TERRITORIAL

Marco Aurélio Vieira Bouffleur

**OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA AVIAÇÃO CIVIL BRASILEIRA E SEUS
IMPACTOS NA SEGURANÇA DO TRANSPORTE AÉREO**

Florianópolis, SC
2022

Marco Aurélio Vieira Bouffleur

**OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA AVIAÇÃO CIVIL BRASILEIRA E SEUS
IMPACTOS NA SEGURANÇA DO TRANSPORTE AÉREO**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Lobo

Florianópolis, SC

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Bouffleur, Marco Aurélio Vieira

Os Avanços Tecnológicos na Aviação Civil Brasileira e Seus Impactos na Segurança do Transporte Aéreo / Marco Aurélio Vieira Bouffleur ; orientador, Eduardo Lobo, 2022.

89 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2. Sistemas de Transportes. 3. Auxílio à Navegação. 4. Transporte Aéreo. 5. Avanços Tecnológicos. I. Lobo, Eduardo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

Marco Aurélio Vieira Bouffleur

**OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA AVIAÇÃO CIVIL BRASILEIRA E SEUS
IMPACTOS NA SEGURANÇA DO TRANSPORTE AÉREO**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Professor André Luis da Silva Leite, Dr.
IES-Universidade Federal de Santa Catarina

Professor João Carlos Souza, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Professora Cristine do Nascimento Mutti, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transporte e
Gestão Territorial obtido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Transporte e Gestão Territorial.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Professor Eduardo Lobo, Dr.
Orientador

Florianópolis, 08 de dezembro de 2022.

Este trabalho é dedicado à minha esposa Maristela e aos meus filhos Maira e André, que sempre me incentivaram a realizar com proficiência os estudos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por ter me concedido saúde, equilíbrio e proteção em toda minha trajetória.

Ao Professor Doutor Eduardo Lobo, pelo conhecimento proporcionado por meio de sua pedagogia e pela vontade inabalável de atendimento a todas às demandas de questionamentos, o que me fez concluir esta etapa muito importante na vida.

Ao DECEA, pela oportunidade de obter conhecimentos muito relevantes para minha caminhada na carreira militar.

Ao DTCEA, pela disponibilidade de dados e informações necessários para a realização deste trabalho.

Ao Comando da Aeronáutica, pelas lições de vida que me fizeram crescer e vivenciar a arte de voar e de fazer voar.

A minha querida família, que sempre me apoiou nos momentos mais necessários, por ter suportado minha ausência, por ter se comprometido com o planejamento e término desta dissertação e por ter me auxiliado a manter a calma e o domínio da situação frente a tantas adversidades.

Por fim, a todos os que contribuíram para o êxito desta pesquisa.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

O presente trabalho teve o objetivo de esclarecer as principais contribuições e mudanças, frente à evolução, para o gerenciamento da segurança operacional do transporte aéreo. Para tanto, está sedimentado como pesquisa explicativa, realizada através de uma revisão integrativa com busca sistemática, de forma descritiva, por meio de procedimento bibliográfico e documental, associado a abordagens qualitativas. Dessa forma, a dissertação apresentou a implantação dos auxílios à navegação e abordou a sua importância no contexto da evolução a luz dos fatores que alavancaram as tecnologias da Navegação Baseada em Performance, com a utilização de computadores, comunicação e sistema de posicionamento global, entre outros benefícios. Em seguida, foram apresentadas as distâncias de navegação aérea entre os aeroportos de São Paulo e Florianópolis, mais especificamente os trajetos de voos da aviação civil de Guarulhos e Congonhas a Florianópolis, em período anterior e posterior à implantação da PBN, e constatou-se que esses trechos obtiveram resultados negativos após a PBN. O estudo teve por objetivo analisar e esclarecer as majorações das distâncias percorridas. Após as análises e a obtenção da clarificação de questionamentos sobre a malha viária dos trechos em questão, concluiu-se que ocorreram importantes modernizações e mudanças do cenário para o transporte aéreo. Contudo, ainda há incrementos em percursos que não puderam ser otimizados em função da segurança e da grande quantidade de voos que chegam e partem dos aeroportos em horários de grande movimento, além de razões técnicas e operacionais. Dessa forma, este trabalho se reveste de importância para o Comando da Aeronáutica e para o órgão de aviação civil, bem como contribui com novas pesquisas sobre a temática. As análises e resultados propõem fomentar ações na busca do aprimoramento desejável de rotas aéreas, consoante ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo.

Palavras-chave: Sistema de Transportes. Navegação baseada em performance. Gestão do tráfego aéreo. Auxílio à navegação.

ABSTRACT

The present work had the objective of clarifying the main contributions and changes, in view of the evolution, for the management of the operational safety of air transport. Therefore, it is established as an explanatory research, carried out through an integrative review with a systematic search, in a descriptive way, through a bibliographic and documental procedure, associated with qualitative approaches. In this way, the dissertation presented the implementation of navigation aids and addressed its importance in the context of evolution in the light of the factors that leveraged the technologies of Performance-Based Navigation, with the use of computers, communication and global positioning system, among others benefits. Then, the air navigation distances between the airports of São Paulo and Florianópolis were presented, more specifically the flight paths of civil aviation from Guarulhos and Congonhas to Florianópolis, in the period before and after the implementation of the PBN, and it was found that these stretches had negative results after PBN. The objective of the study was to analyze and clarify the increases in the distances covered. After the analyzes and obtaining clarification of questions about the road network of the stretches in question, it was concluded that there were important modernizations and changes in the scenario for air transport. However, there are still increases in routes that could not be optimized due to security and the large number of flights arriving and departing from airports at busy times, in addition to technical and operational reasons. In this way, this work is of importance for the Air Force Command and for the civil aviation body, as well as contributing to new research on the subject. The analyzes and results propose to promote actions in the search for the desirable improvement of air routes, according to the Airspace Control Department.

Keywords: Transport System, Performance-based navigation, Air traffic management, Navigation assistance.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAS	Sistema de Aumentação a Bordo da Aeronave
ADF	<i>Automatic Direction Finder</i>
ASM	Gerenciamento do Tráfego Aéreo
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APP	Controle de Aproximação
ASM	Gerenciamento do Espaço Aéreo
ATC	<i>Air Traffic Control</i>
ATCO	Controlador de Tráfego Aéreo
ATFM	Gerenciamento do Fluxo do Tráfego
ATM	<i>Air Traffic Controller</i>
ATN	Navegação Assistida por Satélite
ATS	Serviço de Tráfego Aéreo
CDO	Operação de Descida Contínua
CEFIT	Colisão com o Solo em Voo Controlado
COMAER	Comando da Aeronáutica
CGNA	Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea
CISCEAB	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
CNS/ATM	<i>Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management</i>
CPDLC	<i>Controller Pilot Data Link Communication</i>
DCA	Diretriz do Comando da aeronáutica
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DME	Equipamento Rádio Telemétrico
DTCEA	Destacamento de Controle do Espaço Aéreo
ESO	<i>FDR Flight data Recorder</i>
FANS	<i>Future air Navigation Systems</i>
FMS	<i>Flight management System</i>
FIR	Região de Informação de Voo
FL	<i>Flight Level</i>
GALILEO	Sistema de Navegação por Satélite do Continente
GATMOC	Conceito Operacional ATM Global
GBAS	Sistema de Aumentação Baseado no Solo

GLONASS	Sistema de Navegação Global por Satélite
GMBM	<i>Global Market-Based Measure</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HF	<i>High Frequency</i>
IATA	<i>International Air Association</i>
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IFR	Regras de Voo por Instrumentos
ILS	<i>Instrument Landing System</i>
ITAQ	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
NDB	<i>Non Directional Beacon</i>
OACI	Órgão de Aviação Civil Internacional
PBCS	Comunicação e Vigilância Baseada em Performance
PBN	<i>Performance Based Navigation</i>
PCA	Plano de Implementação ATM Nacional
QAV	Querosene de Aviação
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RNAV	Rotas de Navegação Aérea
RNP	<i>Required Navigation Performance</i>
SBAS	Sistema de Aumentação Baseado em Satélite
SBCT	Boletim de Serviço de Curitiba
SBSP	Boletim de Serviço de São Paulo
SBFL	Boletim de Serviço de Florianópolis
SBGR	Boletim de Serviço de Guarulhos
SBCG	Boletim de Serviço de Congonhas
SBPA	Boletim de serviço de Porto Alegre
SDAD	Subdepartamento de Administração
SDOP	Subdepartamento de Operações
SDTE	Subdepartamento Técnico
SGRAS	Sistema de Aumentação Regional Baseado no Solo
SISCEAB	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
TBO	Operação Baseado na Trajetória

TMA	Terminal Aérea
TWR	Torre de Controle
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
VFR	Regras de Voo Visual
VHF	<i>Very High Frequency</i>
VICEA	Vice Direção
VOR	<i>Very High Frequency Omnidirectional Range</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Transporte de passageiros.....	19
Figura 2: Cartas de voos e aproximações com os diversos detalhes.....	36
Figura 3: Navegação convencional, RNAV e RNP.....	43
Figura 4: Navegação convencional, RNAV e RNP.....	48
Figura 5: FIR nacionais abrangidas pelo Sistema ATM Nacional.....	51
Figura 6: Sistemas de rotas RNAV e rotas convencionais.....	58
Figura 7: Aviões com separação vertical mínima.....	60
Figura 8: PBN assistidos pelos apoios de solo e GPS.....	61
Figura 9: Trecho de voo com o PBN.....	70
Figura 10: Carta de rotas aéreas TMA-SP.....	76
Figura 11: Malha aérea.....	77
Figura 12: Trecho hipotético da malha aérea, SBSP/SBGR – FL.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Demanda e Capacidade – Aeroporto de Guarulhos	73
Gráfico 2: Demanda e Capacidade – Aeroporto de Congonhas	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Seleção de artigos por base de dados	65
Quadro 2: Estudos que subsidiaram as pesquisas	66
Quadro 3: Cartas aeronáuticas do DECEA	71
Quadro 4: Produto do consumo de QAV X distâncias percorridas.....	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	22
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 Objetivo Geral	22
1.2.2 Objetivos Específicos	22
1.3 JUSTIFICATIVA	23
1.4 QUANTO À CONTRIBUIÇÃO	26
1.5 QUANTO À ORIGINALIDADE	26
1.6 QUANTO ÀS LIMITAÇÕES DA PESQUISA	26
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2 REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO	29
2.2 O PROGRAMA OPERACIONAL ATM NACIONAL	30
2.2.1 Situação do cenário	30
2.2.2 O Sistema ATM	30
2.2.3 Benefícios do ATM	31
2.3 A NAVEGAÇÃO BASEADA EM PERFORMANCE	32
2.4 A NAVEGAÇÃO AÉREA NO CONCEITO CNS/ATM	33
2.4.1 Princípios Básicos de um Sistema ATM	35
2.5 DADOS HISTÓRICOS DA NAVEGAÇÃO AÉREA	35
2.5.1 Entendendo o Sistema Convencional de Navegação Aérea	35
2.5.2 O “NDB”	39
2.5.3 VOR/DME	39
2.5.4 Modernos Aviônicos	40
2.5.5 Principais Avanços Tecnológicos na Navegação Aérea e Gerenciamento da Segurança Operacional do Transporte Aéreo	41
2.6 TECNOLOGIA E APOIO À GESTÃO DE SEGURANÇA	44
2.6.1 Otimização da Estrutura do Espaço Aéreo das Áreas de Controle Terminal (TMA)	44
2.6.2 Principais benefícios	45
2.7 NAVEGAÇÃO BASEADA EM PERFORMANCE (PBN)	46
2.7.1 Espaço Aéreo Oceânico	50

2.7.2 Regiões de Informação de Voo (FIR)	51
2.7.3 Considerações sobre o sistema ATM Nacional	51
2.7.4 Os Empreendimentos de Evolução do Sistema ATM Nacional	52
2.7.5 O Planejamento do DECEA	52
2.7.6 PCA 351-3/2012, do Plano de Implementação ATM Nacional do Departamento de Controle do espaço Aéreo do Comando da Aeronáutica	53
2.7.7 Planejamento do Sistema ATM GLOBAL – OACI	53
2.7.8 Planejamento do Sistema ATM Nacional	53
2.8 MUDANÇAS NA COMUNICAÇÃO NO CONCEITO CNS-ATM	56
2.8.1 Principais benefícios	56
2.8.2 A Inovação na Gestão Aeroportuária com Foco na Segurança da Operação Aeroportuária	57
2.8.3 O CPDLC – Controller Pilot Data Link Communications	61
3 METODOLOGIA	63
3.1 TIPO DE PESQUISA	63
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	63
3.2.1 Caracterização da Pesquisa	63
3.2.2 Estratégias de Pesquisa	64
3.2.3 Quanto ao instrumento de produção	67
4 APLICAÇÃO PRÁTICA DOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS	69
4.1 INTRODUÇÃO DO CAPÍTULO	69
4.2 COMPARAÇÕES DE DISTÂNCIAS VOADAS NOS TRECHOS GUARULHOS E SÃO PAULO - CONGONHAS A FLORIANÓPOLIS	69
4.3 A ANÁLISE DOS DADOS	72
4.4 ENTREVISTA COM O DTCEA - FL	74
4.5 QUESTIONÁRIO	74
4.6 RESULTADOS	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	80
5.1 SOBRE OS OBJETIVOS	80
5.2 AS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES	81
5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES	82
5.4 SUGESTÕES	82
REFERÊNCIAS	83

APÊNDICE A: Entrevista Semiestruturada com o Especialista CTA do DTCEA-FL.....	88
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

Os dados divulgados pelo Anuário do Transporte Aéreo, da ANAC, mostram que o número de passageiros transportados na aviação civil brasileira em 2019 alcançou a marca de 119,4 milhões de pessoas, sendo 1,4% maior do que o registrado em 2018. (ANAC, 2019).

Se a partir de 2019 houve aumento da demanda por viagens aéreas, é presumível que os serviços de voos também sejam crescentes, o que faz com que as aeronaves estejam bem mais preparadas e as tecnologias mais abrangentes e modernas. (OACI, 2008).

Os avanços tecnológicos acontecem rapidamente, e o mesmo ocorre com a tecnologia do transporte aéreo brasileiro, cuja evolução é relevante para o desenvolvimento da aviação, de modo que aquilo que inicialmente era adequado pode, neste momento, ter que ser melhorado e aperfeiçoado.

Na esfera global como nacional a humanidade perpassa por constantes modernizações que denotam expressivas mudanças e emprego de novas tecnologias.

O contexto aéreo sofreu exponencial desenvolvimento, como afirmam Portilho e Bukzem (2015, p. 18), e esse processo se deu em tempo relativamente reduzido, especialmente no período entre as guerras mundiais.

No âmbito da navegação aérea, é preciso explorar os precedentes que resultaram no surgimento de práticas específicas para a condução de voos seguros para as aeronaves, visto que as condições nem sempre são favoráveis à visualização do cenário externo e do terreno sobrevoado.

Além disso, o aumento da quantidade de voos, apesar de benéfico para a economia, apresenta-se também como um desafio para os países, pois o problema reside em um fato simples e concreto: o espaço aéreo é finito, e a cada ano será necessário colocar mais aeronaves em um mesmo volume de espaço. (JUNIOR, 2019).

Conforme o DECEA, “O espaço aéreo sob a responsabilidade do Brasil estende-se além de suas fronteiras: ultrapassa a área sobre seu território e alcança uma significativa parte do Oceano Atlântico, perfazendo um total de 22 milhões de km², sobre terra e mar, acordados em tratados internacionais.” (DECEA, 2019, p. 2).

As tecnologias vem alavancar a indústria aeronáutica com o objetivo de proporcionar controle, segurança e otimização do transporte aéreo, bem como de otimizar os espaços e tempos de viagem. Um dos pontos desse avanço é a diminuição da carga de trabalho tanto de pilotos quanto de controladores de tráfego aéreo que passaram a utilizar tecnologias computacionais. Tais tecnologias tornam as operações aéreas mais seguras e contribuem, assim, para a diminuição dos acidentes e incidentes aéreos, reduz a emissão de monóxido de carbono na atmosfera e reduz as distâncias de voo.

De acordo com Ferreira (2017), esse cenário passou a se instaurar a partir dos anos 1990, sendo que entre 1990 e 2016 inúmeras transformações ocorreram na aviação comercial brasileira.

Nessa ótica, Braga (2017) apresenta os dados da OACI sobre o desenvolvimento do setor aéreo mundial, apontando um alto crescimento ocorrido nas últimas décadas. O número de passageiros transportados, por exemplo, partiu do patamar de 1.7 bi em 2000, passou para 2.9 bi em 2012, estima chegar a 4.1 bi em 2020, e a previsão mais otimista é de que atinja 6.3 bi em 2030, estatística que pode ser observada na Figura 1.

Figura 1: Transporte de passageiros



Fonte: www.ebianch.com (s.d.)

Esses dados tornam visível a importância de fomento de um setor em expressivo desenvolvimento nas áreas mais necessárias e, dessa forma, o horizonte se declina para novas tecnologias com fins de prover melhores e mais confiáveis sistemas de navegação aérea. (BRAGA 2017).

De modo a superar as tecnologias precedentes, os sistemas de navegação aérea passaram por transformações significativas. Até os anos 90, os sistemas de navegação da aviação eram concebidos por meio da utilização de rotas fixas, e instalados em locais pré-determinados para dar suporte às aeronaves através de pontos denominados de VOR (faixa de rádio omnidirecional de frequência muito alta) e DME (distância equipamento e medição), para estimar a posição, em voos domésticos. Já os voos oceânicos utilizavam o sistema INS (sistema de voo inercial). (ICAO, 2008).

O CNS/ATM, como afirma Simões (2020), surgiu na década de 80, quando a ICAO percebeu que os meios de navegação e os sistemas utilizados na década não suportariam o tráfego aéreo previsto para o século XXI. Assim, o Comitê criado em 1983 com a denominação de “Sistemas Futuros de Navegação Aérea (FANS) tinha a finalidade de analisar e identificar novas tecnologias para o auxílio do desenvolvimento desse novo conceito de navegação”. (SIMÕES, 2020, p. 12). Em 1991, quase dez anos depois, os estudos e as análises, como apresentado por Simões (2020), foram oficializados ao serem aprovados pela Organização de Aviação Civil Internacional na 10ª Conferência de Navegação.

Desse modo, o Programa PBN (Navegação Baseada em Performance) apresenta em suas tecnologias o uso mais racional e sustentável do espaço aéreo, vislumbrando, de certa forma, uma perspectiva de futuro, já que busca antecipar o aumento progressivo da demanda de tráfego e revela a preocupação em diminuir os impactos ambientais causados pelo transporte aéreo. A implementação do PBN preconiza atender às exigências e recomendações estabelecidas pela ICAO no que diz respeito a um novo conceito ATM nacional (gerenciamento de tráfego aéreo).

Essa tecnologia, baseada em satélites, comunicação digital, procedimentos sustentáveis e capacitação de pessoas evidenciam alguns dos aspectos que estão sendo empregados pelo DECEA. Uma das inovações que o programa traz consiste no estabelecimento da Navegação Baseada em Performance (PBN).

Tal conceito especifica que a performance do sistema RNAV volta-se a definições em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade, sendo que as aeronaves deixam de ter suas trajetórias de voo balizadas apenas por auxílios terrestres, passando a contar com informações advindas de satélites, que são processadas por avançados sistemas de bordo (DECEA, 2018).

A Navegação Baseada em Performance otimiza a estrutura dos trajetos de navegação, propiciando rotas menores e muito mais precisas, além de especificar os requisitos de desempenho dos sistemas RNAV e RNP para cada tipo de operação. Assim, as aeronaves não necessitam passar pelos pontos de apoio de navegação, podendo ser traçada uma reta entre o início e o destino de voo.

O principal serviço fornecido pelo Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM) é a garantia de separação para a prevenção de colisão entre aeronaves e de colisão contra terrenos e obstáculos. (CHUJO et al., 2017). Assim, as novas tecnologias e inovações das comunicações digitais, com o uso do ATN e da navegação assistida por satélite, são entendidas como novos conceitos de controle do espaço aéreo. Com o sistema ATM operacional na aviação civil, o transporte aéreo foi aprimorado no que tange às aeronaves e aos sistemas de navegação terrestre, com uso de modernas tecnologias geridas por satélite.

Os pilares do CNS/ATM são a comunicação, a navegação, a vigilância e o gerenciamento do tráfego aéreo, com a finalidade primeira de desenvolver as tecnologias CNS por satélite GPS, GLONASS e GALILEO. Essas ferramentas são eficazes para solucionar problemas contumazes de navegação, como congestionamento de vias aéreas, tráfego aéreo e atrasos de voos, além de prover cobertura de áreas não continentais e FIR marítimos. (DECEA, 2018).

Portanto, a abordagem desse sistema concebido pelo DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), programa que vem sendo encampado na navegação aérea do mundo, possibilita um melhor gerenciamento do tráfego aéreo e a otimização de gargalos de rotas aéreas congestionadas, provendo maior segurança com os espaçamentos entre as aeronaves.

Esta dissertação tem como objetivo inicial avaliar a possível necessidade de evolução das novas tecnologias que estão em operação para a segurança das operações aéreas. Em um segundo momento, pretende-se identificar e abordar

parâmetros, analisando-os com relação ao período anterior ao PBN e posterior à implantação da Navegação Baseada em Performance.

De forma a compreender tais cenários, utiliza-se uma situação hipotética de voos da aviação civil, a saber, os trechos de Florianópolis a Guarulhos e Florianópolis a Congonhas, como abordado em Pagliarini, Henkes e Garcia (2021).

Por fim, após as abordagens das tecnologias e seus avanços para o Sistema de navegação aérea, esta dissertação objetiva identificar as possíveis causas de majoração de distâncias nas rotas dos aeroportos de São Paulo, Congonhas e Guarulhos a Florianópolis.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como problema de pesquisa, busca-se compreender quais são os impactos dos avanços tecnológicos na navegação aérea e no gerenciamento da segurança operacional no que tange ao transporte aéreo brasileiro.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral, esta dissertação contempla identificar os principais impactos dos avanços tecnológicos, que apresentam resultados positivos e ainda negativos em determinadas rotas aéreas, em consequência dos movimentos aéreos instaurados com a implantação do conceito de navegação baseada em performance.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para chegar ao objetivo geral, esta pesquisa se desdobra nos seguintes objetivos específicos:

a) Caracterizar a Navegação Baseada em Performance e contextualizar a sua contribuição para o avanço da aviação civil brasileira;

- b) Esclarecer as principais contribuições da evolução da navegação aérea para o gerenciamento da segurança operacional;
- c) Compreender as principais mudanças aplicadas com a Navegação Baseada em Performance na aviação; e
- d) Identificar parâmetros e analisar os períodos anterior e posterior à implantação da Navegação Baseada em Performance em uma situação hipotética, através da análise de distâncias de voos e consumo de combustível, relacionado através da amostra de trajetos dos aeroportos de Guarulhos – SP e Congonhas – SP, com destino a Florianópolis – SC.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os avanços tecnológicos na aviação civil brasileira proporcionam voos confiáveis com segurança e expansão operacional. Contudo, tais processos necessitam ser constantemente aprimorados e modernizados para atender às necessidades de acomodação de um maior número de aeronaves, de um elevado quantitativo de passageiros e da redução das distâncias voadas, com a consequente diminuição de combustível utilizado.

É preciso, inicialmente, situar o leitor na trajetória da leitura deste trabalho, para entendimento dos conceitos e nomenclaturas empregadas. Com isso, poderá haver uma familiaridade com relação às evoluções das tecnologias da aviação que muito foram utilizadas, mas que, no presente momento, mostram-se ultrapassadas. Além disso, é mister elucidar que mudanças ainda serão concebidas diante de melhores e maiores aeronaves que necessitam estar de acordo com as normas e tecnologias do OACI.

É importante, ainda, que o leitor tenha o entendimento das novas tecnologias implementadas pelo DECEA com relação ao novo conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN), gênese do atual trabalho de pesquisa para a dissertação. Dessa forma, a seguir, percorre-se um breve histórico da evolução das tecnologias que estão embarcadas nas aeronaves e do crescimento do setor do transporte aéreo.

No mercado do transporte aéreo, o avião é alvo de curiosidade e desempenha um papel importante na história da arte de voar. Com o passar do

tempo, novos adventos foram sendo introduzidos com relação a esse meio de transporte.

Por conseguinte, das preocupações com a segurança e do trato com esse novo sistema de transporte surge a necessidade de prover normas que regulamentam o tráfego das aeronaves em função do crescente aumento alcançado pelas indústrias de aviação.

Ao longo da história, alguns acontecimentos tiveram repercussão na aviação, e falhas do sistema de segurança aeroportuária acarretaram desdobramentos, ceifando vidas humanas e comprometendo a aviação, que perdeu confiabilidade perante a sociedade. Em função desses episódios, da indústria emergente e da rápida e constante evolução da aviação internacional, no início da década de 80, o conselho da OACI entendeu que seria necessária uma completa avaliação dos procedimentos e sistemas em uso.

Em função do acelerado crescimento do setor aéreo, o sistema de controle do espaço aéreo necessita de planejamento, antecipação de medidas e procedimentos a serem desenvolvidos no tráfego aéreo. Nesse sentido, Gavazzi (2018) faz referência, em sua pesquisa, ao fato de que o setor aeroviário de Portugal, em função do crescente desenvolvimento, sinalizou que o transporte aéreo, já em 2017, demonstrou ter atingido o gargalo quanto à capacidade operacional do tráfego de aeronaves em alguns aeródromos da Europa. (GAVAZZI, 2018).

Ferreira (2017) também apresenta que na Europa, sobretudo em Portugal, o tráfego aéreo dos últimos quatro anos obteve um crescimento de 39% de rotas de voo, sendo necessária a adoção de novas tecnologias e novos sistemas para a acomodação do acréscimo de tráfego aéreo.

Essas medidas foram essenciais após quatro falhas no Sistema de Controle e Gestão de tráfego aéreo (ATM) naquele ano, e foram implementadas com um lapso de três anos. (FERREIRA, 2017).

Naquele contexto, para prover a segurança aérea, foi implantado o sistema ATM (Gerenciamento do Tráfego Aéreo), baseado na provisão de serviços, que resultam da ação conjunta de todos os recursos, incluindo o espaço aéreo, os aeródromos, as aeronaves, a infraestrutura tecnológica e os recursos humanos, tendo como principal objetivo possibilitar voos livre de perigos, atendendo aos limites de capacidade do sistema e seus recursos. (DECEA, 2018).

Nessa perspectiva, também é relevante realizar, no âmbito deste trabalho de pesquisa, a análise desse Sistema, que se fundamenta no emprego de soluções estratégicas para a evolução permanente do gerenciamento do tráfego aéreo brasileiro, associado às necessidades de preservar o meio ambiente. (DECEA, 2018).

A estrutura do DECEA tem a finalidade de colaborar no gerenciamento do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro, assumindo a condição do país de 2º colocado em aviação. Além disso, busca manter e, se possível, reduzir os já baixos índices de acidentes aeronáuticos, fomentando a indústria aeronáutica nacional e ajudando a desenvolver tecnologias, que visam, sobretudo, o gerenciamento da economia de combustíveis de aviação. (SOUZA, 2008).

Diante das observações registradas, este trabalho se justifica com o objetivo primeiro de esclarecer a evolução da navegação aérea que assistia às aeronaves em todas as suas necessidades, atendendo às normas e aos fundamentos do tráfego aéreo. Assim, é possível identificar e analisar como tais tecnologias davam suporte às necessidades da aviação, e como foi o processo de substituição a partir do advento de tecnologias que passam a atender o setor aéreo com a finalidade de acompanhar a evolução e de prover a segurança, otimizando distâncias e tempos voados.

Num segundo momento, a dissertação se justifica por visar prover subsídios ao DECEA e aos responsáveis pelos estudos e gerenciamento de rotas aéreas no sentido de fomentar o uso de ferramentas para a evolução e modernização de cartas aéreas e sua otimização em função da implementação da PBN. A pesquisa se estrutura na busca por melhores resultados, uma vez que algumas rotas ainda não foram atendidas, criando oportunidades para estudos intensivos que visam otimizar resultados.

Como terceiro ponto, a dissertação busca clarificar, aos futuros pesquisadores, a influência da implantação do PBN, que obteve significativo progresso na redução de distâncias voadas, apesar dos gargalos que ainda permanecem em trechos das vias aéreas em função da operacionalidade e segurança da aviação.

Os benefícios do PBN foram verificados em entrevista realizada pelo autor com o DTCEA de Florianópolis. Em relação às análises dos trajetos de São Paulo e Guarulhos a Florianópolis, questiona-se a possibilidade de contornar as diferenças

entre os trechos com a otimização das distâncias, o que é objeto de estudos do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

1.4 QUANTO À CONTRIBUIÇÃO

Após as análises e conclusões, esta dissertação preconiza contribuir com o Comando da Aeronáutica e com o DECEA, possibilitando fomentar ferramentas de extrema importância para a confecção de novas cartas aéreas, provendo meios para aplicar soluções inovadoras que atendam às companhias da aviação civil no que tange às reivindicações de otimizar distâncias e de reduzir possíveis atrasos de voos em determinadas situações.

O trabalho se reveste de importância por contribuir com a indústria aeronáutica (*stakeholders*), com empresas aéreas e com demais interessados, servindo como instrumento de pesquisa e conhecimento.

O trabalho visa, ainda, contribuir com outros pesquisadores, dando subsídios aos estudos que estão em consonância com o tema.

1.5 QUANTO À ORIGINALIDADE

As pesquisas foram efetuadas em portais universitários que trazem artigos científicos e periódicos. Para a coleta de dados, foram utilizados como descritores os termos PBN, navegação aérea e auxílio à navegação aérea. De maneira análoga, foram realizadas análises em documentos que contemplam este trabalho, como Decretos, leis e normas vigentes, que norteiam o OACI, o Comando da Aeronáutica e o DECEA, arcabouços constantes das referências da dissertação.

1.6 QUANTO ÀS LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Os estudos apresentados nesta dissertação contribuem para verificar os avanços tecnológicos da aviação brasileira obtidos por meio da implantação do conceito de navegação baseada em performance, que, por sua vez, visa atingir os melhores resultados para o controle do tráfego aéreo.

As conclusões identificam a influência desse conceito de navegação aérea, evidenciando otimização ou incrementos em determinadas rotas que foram analisadas no escopo desta dissertação.

Para atingir esses resultados e identificar os impactos dos avanços tecnológicos, obtendo respostas técnicas que levam a não contemplação dos trechos aéreos analisados, foi necessário realizar pesquisa de campo com o DTCEA (Destacamento de Controle do Espaço Aéreo) para esclarecer detalhes técnicos.

Para tanto, realizou-se entrevista utilizando a ferramenta de questionário semiestruturado, direcionada aos profissionais de Controle do Espaço Aéreo de Florianópolis-SC. Destaca-se que, para as análises, não foram utilizados cenários alternativos com demais rotas e distâncias aéreas.

O DTCEA de Florianópolis é responsável pelo controle das aeronaves que ocupam o espaço aéreo da capital. A escolha pelo local ocorreu pela facilidade de localização, de comunicação e de aplicação da pesquisa.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho está disposta em 5 capítulos, organizados no formato que é descrito a seguir.

No Capítulo 1, que contempla a gênese da pesquisa, é introduzido o foco do trabalho e são abordados os objetivos e a justificativa da dissertação. Além disso, são apresentadas as tecnologias precedentes dos sistemas de navegação aérea.

No Capítulo 2, explora-se o referencial teórico, que contempla o arcabouço necessário para desvelar os diversos conteúdos pesquisados nos portais da Capes e do *Google University*. Além disso, são explorados Regulamentos e documentos que contêm instruções do Comando da Aeronáutica no tocante à segurança da navegação aérea e ao controle do espaço aéreo brasileiro, que são responsabilidades do Estado Brasileiro delegadas ao Comando da Aeronáutica (COMAER) por meio da Lei que os rege.

Aborda-se, ainda, o Programa Operacional ATM Nacional, que subsidia a análise dos percursos das cartas aéreas, e também são apresentados os

pressupostos relacionados à Navegação Baseada em Performance (PBN) e às tecnologias de apoio à gestão de segurança, além de dados históricos da navegação aérea.

No capítulo 3, aborda-se a metodologia empregada para a construção do trabalho e também se verifica a idoneidade dos assuntos abordados. A seção explicita, ainda, a justificativa para a abordagem desta pesquisa, e a metodologia empregada na dissertação, referenciando o tipo de pesquisa, os procedimentos metodológicos e sua caracterização, a fonte e o método empregado por meio dos autores que fazem referência à metodologia de trabalho.

Explora-se, também, o modo com que esses elementos são aplicados para se chegar aos objetivos e se obter respostas às proposições relativas à temática desta dissertação.

O capítulo 4 busca identificar e analisar as distâncias voadas nos períodos anterior e posterior à implantação da Navegação Baseada em Performance, em uma situação hipotética de voos da aviação civil, a saber, os trechos de Guarulhos e Congonhas a Florianópolis. Dessa forma, a seção busca evidenciar os principais benefícios advindos do ATM Nacional atribuídos à Implementação da PBN.

O capítulo 5 traz as conclusões desta pesquisa e sugere novos temas de trabalhos com assuntos que norteiam a navegação aérea e seus benefícios. Sugere-se, ainda, realizar análises de distâncias voadas entre aeroportos que demandem maiores distâncias, com objetivo de comparar os incrementos nas distâncias percorridas em voos da aviação brasileira.

Para situar o leitor, o capítulo 2, a seguir, apresenta detalhados, os aspectos do referencial teórico que orientam esta dissertação. O Referencial teórico carrega a essência da pesquisa, propondo elencar as pesquisas já realizadas sobre a temática, situando o leitor em relação ao programa operacional ATM Nacional e seus benefícios, a Navegação Baseada em Performance, os dados históricos da navegação aérea e a Tecnologia e o Apoio à Gestão de Segurança.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

Neste capítulo, foca-se a relação de subordinação do DECEA ao Comando da Aeronáutica e o Decreto Lei cuja finalidade é planejar, gerenciar e controlar as atividades que envolvem o controle de voo. São apresentados, ainda, os objetivos e os conceitos da segurança aeroportuária, com acento na gestão. Além disso, busca-se situar o leitor sobre o referencial teórico, explorando conceitos e elementos relacionados à segurança e à gestão aeroportuária a partir de dados históricos da navegação aérea. Dando continuidade à pesquisa, são perpassadas as tecnologias e o apoio à gestão de segurança, focalizando-se a situação do cenário do Programa Operacional ATM Nacional, os aprimoramentos da Navegação baseada em performance e a legislação presente na operação aeroportuária.

A segurança da navegação aérea e o controle do espaço aéreo brasileiro são de responsabilidade do Estado Brasileiro, delegados ao Comando da Aeronáutica (COMAER) por meio da Lei Complementar nº 97, alterada pela Lei Complementar nº 136, de 25 de agosto de 2010, e das Leis nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986 e nº 11.182, de 27 de setembro de 2005, dentre outras legislações. (BRASIL 2014). O DECEA é subordinado ao Comando da Aeronáutica, conforme Decreto Lei nº 6.834, de 30 de Abril de 2009, alterado pelo Decreto nº 7.069, de 20 de janeiro de 2010. O órgão tem por finalidade planejar, gerenciar e controlar as atividades relacionadas ao controle do espaço aéreo, incluindo a proteção ao voo, o serviço de busca e salvamento e as comunicações do COMAER.

O DECEA possui a seguinte estrutura básica: direção, vice direção (VICEA), subdepartamento de administração (SDAD), subdepartamento de operações (SDOP) e subdepartamento técnico (SDTE). (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2019). Para a execução de suas atividades, o DECEA dispõe de organizações subordinadas, as quais cumprem atribuições específicas, em conformidade com seus respectivos regulamentos, em que estão inseridas responsabilidades e atribuições.

2.2 O PROGRAMA OPERACIONAL ATM NACIONAL

2.2.1 Situação do cenário

No início da década de 80, o Conselho da OACI, observando a evolução da aviação civil internacional, entendeu que seria necessária uma completa avaliação dos procedimentos e sistemas em uso. Na oportunidade, reconheceu-se que a forma de prover os Serviços de Tráfego Aéreo (ATS) em vigor e a estrutura do sistema de navegação aérea em geral estaria limitando o crescimento da aviação e inibindo a implementação de melhorias em segurança, eficiência e regularidade das operações aéreas. (DECEA, 2021).

O OACI publicou, em 2005, o DOC 9854, “Conceito Operacional ATM Global (GATMOC)”, fornecendo a visão e a orientação para a transição do ambiente de controle de tráfego aéreo para um sistema de gerenciamento do tráfego aéreo baseado em performance, com disposição para atuar de modo integrado e colaborativo.

No Brasil, a evolução do Sistema ATM vem sendo implementada por meio do incremento das capacidades do sistema de Controle do espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB). O objetivo é atingir níveis adequados de prestação de serviço, mantendo-se a característica de sistema integrado civil/militar, o que possibilita maior flexibilidade operacional e otimização dos meios disponíveis. (DECEA, 2021).

A Concepção operacional ATM Nacional apresenta uma descrição em alto nível das novas funcionalidades previstas para o futuro do Sistema ATM no âmbito do SISCEAB, conjugando às necessidades nacionais soluções inspiradas na visão prospectiva preconizada pela Organização de Aviação Civil Internacional, além de manter-se alinhada à vocação da liderança do estado brasileiro no cenário sul-americano e sua crescente influência supra continental. (DECEA, 2021).

2.2.2 O Sistema ATM

Toda a Comunidade ATM reconheceu que a forma de prover os Serviços de Tráfego Aéreo poderia ir além do componente ATS e, como consequência, permitir a evolução do Sistema Global de Navegação Aérea. Como resultado, a OACI propôs a criação do conceito Gerenciamento do Tráfego Aéreo (ATM), reunindo ao ATS o

Gerenciamento do Espaço Aéreo (ASM) e o Gerenciamento de Fluxo do Tráfego Aéreo (ATFM), atuando de forma integrada. (DECEA, 2021).

2.2.3 Benefícios do ATM

Os benefícios a serem alcançados com a aplicação do ATM são os elencados a seguir:

- a) aumento da disponibilidade de todo o espaço aéreo com recurso utilizável, garantindo equidade de acesso, inserção de novos usuários e aumento da capacidade do sistema, mediante a cooperação de toda a comunidade ATM, incluindo o contínuo aperfeiçoamento da Coordenação Civil/Militar;
- b) melhoria no gerenciamento dos movimentos de superfície nos aeródromos, aumentando a previsibilidade do sistema e assegurando a completa implantação das operações porta a porta;
- c) melhoria no intercâmbio de informações e estreita cooperação entre membros da Comunidade ATM, elevando, ao máximo, a capacidade do sistema;
- d) aumento da flexibilidade na administração dos recursos do Sistema ATM, facilitando a acomodação das preferências dos usuários do espaço aéreo, com a utilização de ferramentas de simulação, de construção de modelos e de avaliação de opções de estratégias de gestão;
- e) melhoria no fluxo de informações sobre demanda e capacidade do Sistema ATM, evitando a sua saturação, resultando na manutenção da carga de trabalho em níveis aceitáveis, com reflexos positivos na segurança operacional;
- f) melhoria nas condições para gerenciamento de conflitos, viabilizando o uso de trajetórias otimizadas com aplicação do conceito de Operações Baseadas na Trajetória (TBO), aliado a um maior intercâmbio de informações entre usuários do espaço aéreo e o sistema ATM;
- g) melhoria na capacidade do ATM com emprego de novos métodos de separação;
- h) uso de processo para a tomada de decisões consistentes como resultado da provisão de informação oportuna, confiável e com qualidade garantida; e

- i) aumento da contribuição com a Comunidade ATM para a proteção do meio ambiente, a partir de um melhor planejamento das atividades aéreas, da inserção das próximas gerações de aeronaves, como as de propulsão elétrica, e do aumento do intercâmbio de informações de domínio dos usuários do espaço aéreo.

2.3 A NAVEGAÇÃO BASEADA EM PERFORMANCE

A PBN, Navegação Baseada em Performance, tem por objetivo atender a uma série de benefícios operacionais, como o aumento da segurança da navegação aérea e a eficiência no uso do espaço aéreo. (DECEA, 2018). No sistema convencional, as aerovias e procedimentos eram balizados apenas por equipamentos em solo, por meio de ondas de rádio, e com a PBN migrou-se para uma nova metodologia, o sistema RNAV (Navegação de Área) ou RNP (Performance de Navegação Requerida).

Os benefícios do PBN trazem para o transporte aéreo uma série de especificações, como:

- a) aumento da segurança do espaço aéreo, por meio da implantação de procedimentos com descida contínua e estabilizada, com guia vertical, possibilitando uma redução significativa dos eventos de CFIT (Colisão com o solo em voo controlado);
- b) redução da distância e do tempo de voo das aeronaves, a partir da implantação de trajetórias ótimas de voo, independentes de auxílio à navegação aérea no solo, gerando economia de combustível;
- c) aproveitamento da capacidade RNAV e/ou RNP já instaladas à bordo de um significativo percentual da frota de aeronaves que voa no espaço aéreo sob jurisdição do Brasil;
- d) otimização das trajetórias de chegada aos aeroportos e ao espaço aéreo, em qualquer condição meteorológica, possibilitando evitar condições críticas de relevo, por meio da utilização de trajetórias RNAV e/ou RNP, e consequente redução de mínimos operacionais de teto e visibilidade;

- e) implementação de trajetórias de aproximação, saídas e chegadas mais precisas, que reduzem a dispersão e propiciam fluxos de tráfego mais previsíveis para o ATC;
- f) redução de atrasos nos espaços aéreos e aeroportos com alta densidade de tráfego aéreo, a partir de um aumento na capacidade ATC e aeroportuária propiciado pela implantação de rotas paralelas, de novos pontos de chegada e saída nas TMA e de procedimentos de aproximação com mínimos operacionais mais baixos;
- g) aumento da capacidade ATC, com potencial redução na separação entre rotas paralelas para acomodar maior quantidade de tráfego aéreo no mesmo fluxo;
- h) redução da carga de trabalho de controladores de tráfego aéreo e de pilotos, considerando que o emprego de trajetórias RNAV e/ou RNP reduz a necessidade de vetoração radar e, em consequência, o tempo empregado nas comunicações entre pilotos/controladores; e
- i) redução de impacto ao meio ambiente, com menores emissões de CO₂ em função de menores distâncias voadas, redução de emissões de ruídos por meio de trajetórias de aeronaves em perfil ótimo de descida/subida e concepção de procedimentos sobre áreas despovoadas (DECEA, 2018, p. 3).

2.4 A NAVEGAÇÃO AÉREA NO CONCEITO CNS/ATM

No CNS/ATM, a rota não fica delimitada a rotas orientadas pelo solo, uma vez que se faz uso de satélite, com emprego do sistema GNSS, sigla cujo significado em português é Sistema Global de Navegação por satélites. O GNSS é o padrão estabelecido pela aviação civil internacional para os novos sistemas de navegação, e apresenta plataforma em constelações de satélites dedicados. (DECEA, 2021).

O DECEA pressupõe que o suporte GNSS provê a navegação aérea inclusive nos três níveis de categoria (I, II, III), de modo que as aerovias passam por grandes reformulações para que uma aeronave navegue de forma mais linear, em rotas de ponto a ponto, sem interceptações radiais magnéticas.

No CNS/ATM, na perspectiva dos órgãos reguladores, os sistemas relacionados à segurança operacional devem ser robustos e abertos, possibilitando

que a segurança operacional seja medida e supervisionada com mais facilidade, assim como comparada e integrada em escala regional e mundial, na busca contínua por melhorias.

Também é apregoado no CNS/ATM¹ que todos os interessados no processo de transição ao Conceito Operacional ATM Global devem estabelecer as necessárias condições para que os seguintes benefícios sejam alcançados:

- a) aumento da disponibilidade de todo o espaço aéreo como recurso utilizável, garantindo equidade de acesso, inserção de novos usuários e aumento da capacidade do sistema, mediante a cooperação de toda a Comunidade ATM, incluindo o contínuo aperfeiçoamento da Coordenação Civil/Militar;
- b) melhoria no intercâmbio de informações e estreita cooperação entre os membros da Comunidade ATM, elevando, ao máximo, a capacidade do sistema;
- c) melhoria das operações sob quaisquer condições de tempo, contribuindo para manter a capacidade máxima do sistema;
- d) aumento da flexibilidade na administração dos recursos do Sistema ATM, facilitando a acomodação das preferências dos usuários do espaço aéreo, com o uso de ferramentas de simulação, de construção de modelos e de avaliação de opções de estratégias de gestão;
- e) melhoria do fluxo de informações sobre demanda e capacidade do Sistema ATM, evitando a sua saturação, resultando na manutenção da carga de trabalho em níveis aceitáveis, com reflexos positivos na segurança operacional;
- f) melhoria das condições para o gerenciamento de conflitos, viabilizando o uso de trajetórias otimizadas com a aplicação do conceito de Operações Baseadas na Trajetória (TBO), aliado a um maior intercâmbio de informações entre os usuários do espaço aéreo e o Sistema ATM;

¹ CNS/ATM é o conceito, adotado desde 1991, para o novo sistema de comunicação, navegação, vigilância e gerenciamento do tráfego aéreo. É apoiado em tecnologias digitais, sistemas de base terrestre e satelital e avançados níveis de automação, requeridos para proporcionar uma gestão de tráfego aéreo mundialmente eficaz, segura e harmonizada. O sistema CNS/ATM faz uso das tecnologias mais recentes e permite aumentar a segurança e a capacidade do sistema de transporte aéreo. (DECEA, 2018).

- g) melhoria na capacidade do ATM com o emprego de novos métodos de separação;
- h) uso de processo para a tomada de decisões consistentes, como resultado de provisão de informação oportuna, confiável e com qualidade garantida; e
- i) aumento da contribuição da Comunidade ATM para a proteção do meio ambiente, a partir de um melhor planejamento das atividades aéreas, da inserção das próximas gerações de aeronaves, como as de propulsão elétrica, e do aumento do intercâmbio de informações de domínio dos usuários do espaço aéreo.

2.4.1 Princípios Básicos de um Sistema ATM

Os princípios básicos de um sistema ATM abordam que, em conformidade com o Conceito Operacional ATM Global, o objetivo do ATM é propiciar o gerenciamento dos movimentos aéreos durante todas as fases do voo, atendendo todos os níveis estabelecidos de segurança operacional, proporcionando operações ótimas e sustentáveis em relação ao meio ambiente e satisfazendo aos requisitos nacionais de segurança.

2.5 DADOS HISTÓRICOS DA NAVEGAÇÃO AÉREA

2.5.1 Entendendo o Sistema Convencional de Navegação Aérea

O sistema convencional de navegação aérea é baseado em tecnologias ultrapassadas, que foram desenvolvidas no meio do século passado, por volta de 1929. Essas tecnologias, na maioria das vezes, utilizam os espectros eletromagnéticos para gerar posicionamento e direção. Tais recursos auxiliam o voo provendo orientação espacial às aeronaves, guiando-as em rotas pré-planejadas. Com eles, a aviação experimentou sua primeira revolução no processo de navegação aérea em rota, pois, a partir de então, foi possível navegar recebendo sinais de orientação oriundos do solo. (PORTILHO; BUKZEM, 2015).

Para Portilho e Bukzem (2015), os equipamentos instalados no solo são dotados de antenas capazes de intercambiar sinais com as aeronaves por meio de

onda eletromagnéticas que, quando captam os sinais de rádios embarcados nas aeronaves, conseguem identificar essas antenas no solo, confirmando a rota e, em algumas situações, gerando o posicionamento da aeronave. Nesse caso, porém, a aeronave necessita sobrevoar a área de alcance das antenas que demarcam a trajetória de voo.

Para a otimização das vias aéreas, foram confeccionadas mais de 300 novas Cartas Aeronáuticas (cartas de rotas aéreas)². Elas revelam os traçados dos novos caminhos pelos quais vêm evoluindo a racionalização da navegação aérea no Brasil que, com o PBN, pôde, enfim, render-se ao preceito euclidiano que há muito já proclamava: a reta é a menor distância entre dois pontos.

A Figura 2 ilustra os traçados dos novos caminhos em cartas de aproximação.

Figura 2: Cartas de voos e aproximações com os diversos detalhes



Fonte: www.voovirtual.com/t11119-cartas-de-voo-e-aproximacoes-com-os-diversos-detalhes

Na navegação convencional, a aeronave não voa em linha reta da partida ao destino, mas perfaz uma soma de pequenos trechos, alongando o tempo de voo e, conseqüentemente, a distância percorrida. Para que a aviação comercial pudesse se

² A cartografia aeronáutica abrange o conjunto de estudos e operações técnicas para a elaboração das cartas aeronáuticas padronizadas destinadas à navegação aérea. Fonte: www.fab.mil.br/noticias/imprime/31081/#:~:text=Ao%20todo%20foram%20confeccionadas%20mais,menor%20distância%20entre%20dois%20pontos. Publicado em: 2017-10-12. Acesso em: 20 ago. 2021 p. 01.

manter em operação mesmo em condições de tempo adverso, era necessário um sistema que pudesse fornecer uma orientação precisa durante o voo, possibilitando rotas cada vez mais longas, com um maior número de passageiros e uma maior quantidade de carga.

Portilho e Bukzem (2015) fazem referência ao processo de navegação que foi implementado, inicialmente, no ano de 1929, nos Estados Unidos. Na época, eram utilizadas ondas de rádio para a navegação aérea. Para tanto, foram instalados, em solo, transmissores de ondas de rádio de baixa e média frequência, chamados de radiofaróis, para que as aeronaves, equipadas com receptores adequados, pudessem receber os sinais.

Os dados históricos da navegação aérea permitem entender as diversas tecnologias empregadas para auxílio à navegação. Dessa forma, é mister verificar como se deu a necessidade de obter melhores condições de navegabilidade, pautadas na segurança e na otimização. Nesse sentido, o Brasil dispõe de uma expressiva rede de auxílios à navegação aérea, distribuída em todas as regiões do país, permitindo aos usuários do espaço aéreo a condução de operações dentro dos mais elevados padrões de segurança.

Essa rede de auxílios convencionais, conforme o DECEA é composta pelos seguintes equipamentos:

- a) VOR (Radiofarol Onidirecional em VHF): auxílio que provê a orientação básica para navegação em rota, terminal e aproximação de não precisão;
- b) DME (Equipamento Rádio telemétrico): auxílio que fornece informações de distância e provê suporte à Navegação Baseada em Performance, utilizando o conceito DME/DME como especificação de navegação RNAV;
- c) ILS (Sistema de Pouso por Instrumentos): auxílio à navegação que fornece orientações de navegação vertical, lateral e longitudinal, durante uma aproximação; e
- d) NDB (Radiofarol Não Direcional): estações de transmissão não direcionais utilizadas como complemento dos VOR/DME ou como auxílio à aproximação de não precisão. O NDB está em fase de desativação no Brasil, uma vez que a OACI solicitou a descontinuidade do equipamento, de acordo com planejamento definido pelo DECEA (2018).

Com a evolução das aeronaves, frente a voos cada vez mais distantes e realizados sobre áreas de difícil acesso, criou-se a necessidade de implantar auxílios de solo para que os pilotos pudessem se orientar e se localizar, sobretudo em períodos noturnos e em condições meteorológicas difíceis. (PORTILHO; BUKZEM, 2015).

Ainda segundo Portilho e Bukzem (2015), os auxílios à navegação buscavam, inicialmente, ajudar os pilotos a visualizar e identificar cidades que serviam como referência no trajeto pretendido. Assim, os primeiros auxílios de navegação remontam à década de 1920. Os equipamentos eram instalados no solo e consistiam em faróis balizadores, semelhantes aos encontrados em regiões costeiras para orientar embarcações. Tais equipamentos garantem a segurança das aeronaves em voos pelos céus do Brasil e nas áreas de responsabilidade nacional das regiões de informações de voo (FIR- *Flight Information Region*).

Os Auxílios à Navegação Aérea são transmissores e receptores de sinais de radiofrequência que orientam pilotos em navegação em rota, seja em procedimento de pouso e decolagem, seja em condições de visibilidade restrita ou, ainda, para organizar o fluxo de tráfego aéreo. (BRASIL, 2012).

Os sistemas de navegação dependentes das ondas de rádio possuem uma longa linha cronológica desde seu surgimento até os dias de hoje. A partir da década de 1930, o implemento da radiocomunicação, bem como da radio navegação ou radio goniométricas, permitiu diversas facilidades e melhorias na navegação aérea, ampliando as possibilidades de as aeronaves se deslocarem em rota com eficiência e segurança. (PORTILHO; BUKZEM, 2015).

Portilho e Bukzem (2015) ainda trazem que os novos processos de navegação baseados na emissão de ondas de rádio por estações transmissoras fixas no solo, a partir de radiofaróis, possibilitaram a navegação aérea em rota por meio da orientação e localização da aeronave com marcações de direção recebidas da estação de solo, método revolucionário que rapidamente se difundiu pelo mundo e passou a equipar principalmente as aeronaves comerciais da época.

A partir dessas abordagens, são descritos e caracterizados os equipamentos utilizados nas operações de voos. As instalações, as operações de verificação e os procedimentos que condizem a tais instrumentos são recomendados pela Aviação Civil Internacional (OACI). (ICAO, 2008).

Assim, para o esclarecimento das características dos apoios à aviação, o presente trabalho apresenta os mais importantes instrumentos ainda utilizados para a segurança de voo: o NDB (*Non-Directional Beacon*), o ILS (*Instrument Landing System* – Sistema de Aproximação e Pouso por Instrumentos) e o VOR (*Very High Frequency Omnidirectional Range*).

2.5.2 O “NDB”

O NDB (Radiofarol Não Direcional) são estações de transmissão não direcionais utilizadas como complemento dos VOR/DME ou como auxílio à aproximação de não precisão. (DECEA, 2020). São, portanto, estações transmissoras instaladas em posições geográficas fixas e precisamente conhecidas. Emitem sinais de radiofrequência em formato pré-determinado, permitindo que estações de rádio móveis (terrestres, aéreas ou marítimas) as identifiquem e determinem sua posição relativa face ao ponto geográfico de emissão.

De acordo com Portilho e Bukzem (2015), o NDB surgiu nos anos 1920, sendo um dos precursores da navegação que continua em atividade. É aplicado como balizador de procedimentos IFR de saída e de chegada em aerovias e também como marcador em procedimentos ILS.

O NDB é uma estação de rádio que emite ondas eletromagnéticas não direcionais na faixa de 190 a 1750 kHz (PORTILHO; BUKZEM, 2015). A aeronave, para captar essas ondas, apresenta um instrumento de bordo chamado de ADF (*Automatic direction finder*), o qual mostra para o piloto a origem do sinal, apontando para a estação. A descontinuidade do NDB foi solicitada pela OACI, de modo que o equipamento está em fase de desativação no Brasil, de acordo com planejamento definido pelo DECEA (2018).

2.5.3 VOR/DME

Conforme Bianchini (2014), o VOR (*Very High-Frequency Omnidirectional Range*) foi desenvolvido na década de 40, e se caracteriza por frequências altas, na faixa de 108.0 a 117.595 MHz. Esse equipamento foi o sucessor do NDB, por ser mais preciso, eliminar os efeitos noturnos e reduzir a suscetibilidade às

interferências elétricas e atmosféricas. O processo de desativação das estações de NDB tem como meta a evolução de uma navegação dependente de equipamentos e sistemas de navegação convencionais, instalados no solo, para um conceito de sistema baseado em performance, com uso de sensores do sistema global de navegação por satélite no espaço aéreo brasileiro. A principal diferença entre o VOR e o NDB é que o VOR possui 360 radiais, e o equipamento embarcado na aeronave pode ser ajustado para identificar essas radiais individualmente.

2.5.4 Modernos Aviônicos

O “ILS” foi criado para suprir uma necessidade de se ter procedimentos de pouso com precisão, já que os procedimentos VOR e NDB oferecem apenas indicação lateral de navegação. O ILS (*Instrument Landing System*), em português *Sistema de Pouso por Instrumento*, é um dispositivo que fornece ao piloto duas informações essenciais: o eixo da pista e a trajetória ideal de planeio. O sistema auxilia o piloto no pouso em condições de teto e visibilidade restritos, sendo os parâmetros previamente definidos pela categoria do ILS. (DECEA, 2011).

Há, portanto, três categorias de ILS:

- a) Cat I: Altura de decisão (mínima): 60 m / Visibilidade: Entre 800 e 550 metros;
- b) Cat II: Altura de decisão (mínima): 30 m / Visibilidade: não menos que 300 metros; e,
- c) Cat III: subdivididas em:
 - 1) Altura de decisão (mínima): 30 m / Visibilidade: 175 metros;
 - 2) Altura de decisão (mínima): 15 m / Visibilidade: 175 metros; e
 - 3) Teto ZERO / Visibilidade ZERO.

No Brasil, em virtude da incidência de nevoeiro em determinadas épocas do ano, apenas as localidades de SBGL, SBGR, SBPA, SBBR e SBCT têm ILS CAT 2. O ILS CAT 2 é um sistema de aproximação e pouso de precisão que conduz a aeronave até uma altura mínima de 30 metros sobre a cabeceira da pista (DH), requerendo uma visibilidade mínima de 400 metros como parâmetro para prosseguimento na aproximação de pouso.

O FMS (*Flight management System*) é um computador que gerencia o plano de voo, direciona a partida da aeronave e seu destino otimizando a rota, além de acompanhar a meteorologia, a altitude e a velocidade. Em substituição aos equipamentos analógicos, o FMS recebe informações dos demais aviônicos, realiza cálculos, verifica a razão de subida e descida e programa a velocidade desejada. (DECEA, 2018).

2.5.5 Principais Avanços Tecnológicos na Navegação Aérea e Gerenciamento da Segurança Operacional do Transporte Aéreo

Para atender às necessidades dos usuários e acompanhar a evolução tecnológica desenvolvida no âmbito da OACI, especialmente em relação à Navegação Baseada em Performance (PBN), o DECEA tem investido na ampliação da rede de auxílios e na implantação de novas tecnologias que permitam um maior aproveitamento da capacidade de navegação embarcada nas aeronaves.

Os sistemas de navegação das aeronaves mais recentes possuem posicionamento global preciso e confiável, necessitando do apoio de uma infraestrutura resultante da combinação adequada das informações de navegação do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), dos sistemas de navegação autônomos embarcados e dos auxílios à navegação convencionais terrestres. (DECEA, 2020). Segundo a abordagem de Chujo et al. (2017), o GNSS fornece melhoras significativas em relação ao sistema convencional de rádio navegação, como maior acurácia e termo de referência universal.

Os sistemas de dados de navegação podem ser integrados a dados de outros sensores embarcados, como sensores inerciais e altímetro, e também a parâmetros aerodinâmicos, para fornecer serviços de alta qualidade para aeronaves mais avançadas tecnologicamente. (CHUJO et al., 2017).

O GNSS é um sistema global de determinação de posição e tempo (sincronismo). Inclui uma ou mais constelações de satélites, receptores de bordo e monitores de integridade, bem como os sistemas de aumentação necessários à adequação aos requisitos de desempenho de navegação para cada tipo de operação. Tal sistema provê as principais informações para o atendimento dos

requisitos de desempenho preconizados pela Navegação Baseada em Performance (PBN).

A navegação GNSS é fundamentada em constelações básicas de satélite. Atualmente, encontram-se em funcionamento o Sistema Global de Posicionamento (GPS), dos Estados Unidos da América, e o Sistema Global de Navegação por Satélite (GLONASS), da Rússia. Estão em fase de desenvolvimento outras duas constelações básicas: o GALILEO, pela União Europeia, e o COMPASS/Beidou, pela China. (DECEA, 2021).

Fazem parte do GNSS o Sistema de Aumentação Baseado em Satélite (SBAS), o Sistema de Aumentação Regional Baseado no Solo (GRAS), o Sistema de Aumentação Baseado no Solo (GBAS) e o Sistema de Aumentação a Bordo de Aeronave (ABAS). Tais elementos visam minimizar as limitações de acurácia, integridade, disponibilidade e continuidade das informações provenientes das constelações básicas de satélites, permitindo operações de navegação mais precisas, incluindo aproximações de precisão.

O Sistema de Aumentação a Bordo de Aeronave (ABAS) utiliza, de forma integrada, os dados dos diversos sistemas de navegação da aeronave, sejam convencionais ou por satélites, e determina a posição da aeronave, verificando continuamente a integridade dessa informação.

O DECEA explicita que o GBAS³ é um sistema de aproximação e pouso de precisão. O sistema busca atender todas as categorias de aproximação, incluindo as de precisão, saídas guiadas, aproximação perdida e operações de superfície dentro de sua cobertura operacional. O GBAS tem como objetivo propiciar as condições necessárias para a aplicação de especificação de navegação com exatidão inferior a 0,3 NM nas operações em TMA, permitindo a redução dos mínimos de separação entre aeronaves e entre aeronaves e obstáculos. (DECEA, 2021).

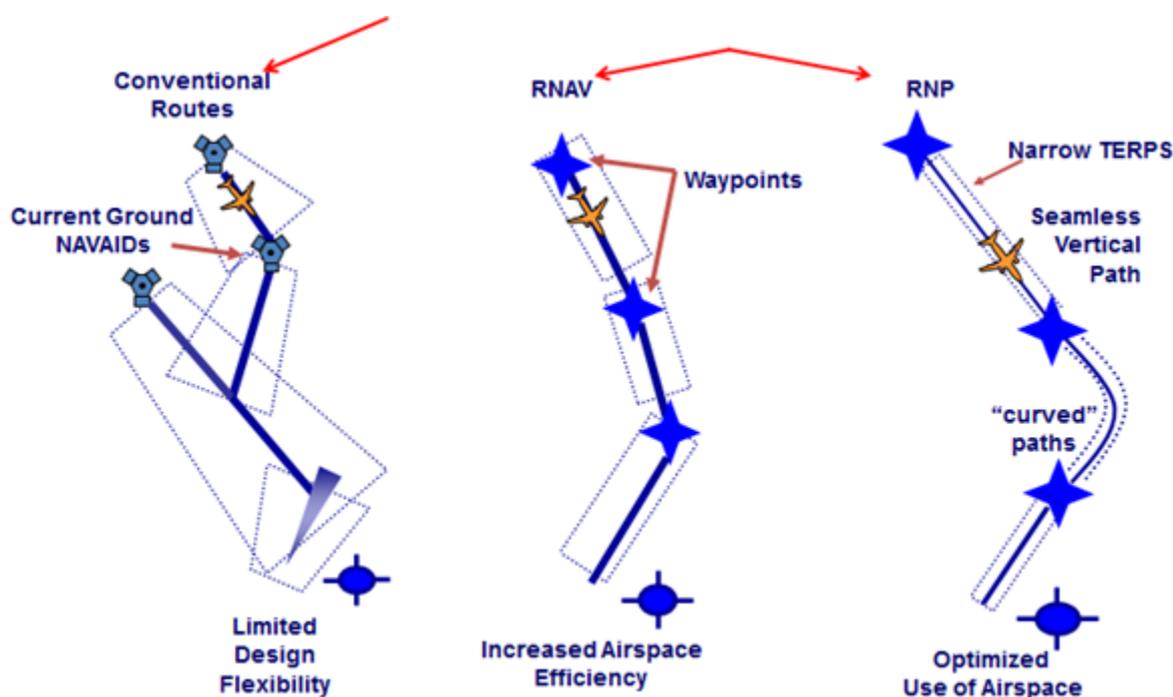
Na navegação convencional, uma aeronave deve passar por pontos de orientação no solo, sendo sempre balizada por esses pontos de apoio. Dessa forma, a navegação fica reduzida, fazendo luz ao postulado euclidiano que diz que a rota de uma aeronave entre dois pontos nem sempre é uma reta. (DECEA, 2021).

³ O sistema GBAS tem por função melhorar a exatidão, a integridade, a continuidade e a disponibilidade da informação para a navegação aérea, possibilitando a aproximação de precisão com base na utilização dos dados provenientes dos sistemas satelitais GNSS (*Global Navigation Satellite Systems* - Sistemas Globais de Navegação por Satélite). (DECEA, 2018).

O conceito de PBN especifica que os requerimentos de performance dos sistemas RNAV das aeronaves são definidos em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade necessárias às operações propostas no contexto de um conceito particular de espaço aéreo. O PBN pressupõe uma mudança da navegação baseada em sensores para uma navegação baseada em *performance*. (DECEA, 2021).

A Figura 3 ilustra esse conceito.

Figura 3: Navegação convencional, RNAV e RNP



Fonte: Barros (s.d.)

Portanto, as navegações RNAV possibilitam que a aeronave possa navegar por satélites, por meio do GPS (Sistema de Posição Global), em uma rota pré-definida, percorrendo-a ponto a ponto sem os auxílios de navegação anteriormente utilizados. (DECEA, 2011). Por conseguinte, no RNAV, as aeronaves são guiadas pelos sinais de GPS, sem necessidade de apoios de solo, favorecendo o tempo de viagem e reduzindo o consumo de combustível.

Os requerimentos de *performance* são identificados em especificações de navegação, que também evidenciam a escolha dos sensores de navegação e do equipamento utilizado para cumprir os requerimentos de *performance*. Tais

especificações de navegação providenciam guias específicos de implementação para estados e operadores, de forma a facilitar uma harmonização global.

2.6 TECNOLOGIA E APOIO À GESTÃO DE SEGURANÇA

Neste subitem são apresentadas algumas das tecnologias de inovação empregadas na navegação aérea que norteiam a gestão de segurança da aviação. A atual rede de rotas foi projetada para ser apoiada, principalmente, por uma rede de auxílios à navegação em terra. Atualmente, com a disponibilidade de informações de navegação do GNSS e com o desenvolvimento da capacidade de navegação das aeronaves, é possível que as redes de rotas possam ser reprojatadas para atender às expectativas dos usuários de efetuar voos no perfil ideal.

Todavia, tal reestruturação impacta o dimensionamento dos diversos setores dos Centros de Controle de Área. Esse Objetivo de Performance tem como foco o aumento da eficiência das operações aéreas mantendo, ao mesmo tempo, os níveis de segurança requeridos. (DECEA, 2018).

Os principais benefícios esperados são:

- a) redução da complexidade do espaço aéreo;
- b) redução da distância voada, execução de operações de descida e subida contínuas, aumento da eficiência no uso do espaço aéreo e redução do consumo de combustível, com a consequente diminuição de emissões de CO₂;
- c) aumento da capacidade e flexibilidade do espaço aéreo; e
- d) melhoria do aproveitamento da capacidade RNAV das aeronaves.

2.6.1 Otimização da Estrutura do Espaço Aéreo das Áreas de Controle Terminal (TMA)

A análise da situação atual das principais TMA, a exemplo do espaço aéreo em rota, tem apontado a necessidade de se melhorar a estrutura de algumas áreas de controle terminal. Nesse sentido, a evolução do gerenciamento do tráfego aéreo nas áreas de controle terminal deve ser harmonizada com a correspondente

evolução das operações em rota, de modo a aumentar a eficiência dos voos e a manter os níveis de segurança operacional, obtendo a integração para o Sistema ATM em todas as fases do voo.

Outros fatores incrementam as dificuldades operacionais nas TMA, além do volume de tráfego aéreo, devendo ser considerados no planejamento da organização do espaço aéreo da TMA e na correspondente infraestrutura de apoio. São eles: quantidade e localização de aeródromos na TMA, características do tráfego, topografia, condições meteorológicas, áreas restritas para operações de aeronaves militares, entre outros. Assim, o Objetivo de Performance tem como foco eliminar ou atenuar, na máxima extensão possível, as lacunas identificadas.

2.6.2 Principais benefícios

Os principais benefícios esperados com a otimização da estrutura do espaço aéreo das áreas de controle terminal são:

- a) utilização de Operações de Descida Contínua (CDO), aumentando a segurança e reduzindo a incidência de Colisão com o Terreno em voo Controlado (CFIT⁴);
- b) redução da distância voada, aumentando a eficiência no uso do espaço aéreo e reduzindo o consumo de combustível, com a consequente diminuição de emissões de CO₂;
- c) redução do efeito do ruído das aeronaves nas comunidades vizinhas aos aeródromos com a execução das operações em descida contínua (CDO);
- d) aumento da capacidade e flexibilidade do espaço aéreo, permitindo a segregação entre fluxos de chegada/saída, com a possibilidade de segregar o tráfego VFR do IFR;
- e) melhoria do uso da capacidade RNAV das aeronaves; e

⁴ CFIT - Colisão com o Solo em Voo Controlado - Característica de um acidente aeronáutico em que uma aeronave, embora aparentemente em voo normal, com plena aeronavegabilidade e com os motores e todos os sistemas do avião ainda em perfeito funcionamento, acaba colidindo com o terreno. (DECEA, 2020).

- f) otimização das rotas de chegada e dos procedimentos de aproximação e saída, melhorando a operacionalidade dos aeroportos em quaisquer condições climáticas.

As operações em TMA têm características próprias, uma vez que nesse espaço aéreo se aplicam critérios particulares quanto aos mínimos de separação entre aeronaves e entre aeronaves e obstáculos. Ademais, ocorre a diversidade entre tipos de aeronaves e respectivas diferenças de performance, caracterizando condições particulares e especiais quanto ao gerenciamento do tráfego e a provisão dos serviços ATM nesse cenário.

Na fase de aproximação, é reconhecido que a eficiência das operações em TMA tem sido prejudicada, não só pelo desenho e pela organização do espaço aéreo, pela divisão de setores e pelo gerenciamento das operações da TMA, mas também pela falta de implantação, em maior escala, de procedimentos baseados em RNAV/RNP, que auxiliariam a eliminar lacunas operacionais. Outro fator contribuinte para a geração de lacunas nas operações na TMA se refere à falta de otimização das operações dos aeródromos, bem como à falta de organização e gerenciamento do sistema de pistas.

2.7 NAVEGAÇÃO BASEADA EM PERFORMANCE (PBN)

A aviação comercial, como apresentada na introdução deste trabalho, teve um crescimento expressivo e constante, de modo que a Organização de Aviação Civil (OACI) precisou equalizar o espaço aéreo, que se encontrava restrito ao deslocamento das aeronaves, de forma segura e operacional. Com isso, foram desenvolvidas novas tecnologias e adotados procedimentos com o objetivo de atender às novas necessidades.

O DECEA explicita a *Performance Based on Navigation* (PBN), que consiste na mudança da navegação convencional, baseada em equipamentos instalados no solo e no bloqueio de auxílios, para uma orientação de aeronaves por meio de satélites, como uma espécie de GPS aéreo, que proporciona trajetórias de voo menos angulares e determina, assim, uma navegação ponto a ponto, com a

consequente redução de distâncias e de tempo gasto em deslocamento. (DECEA, 2021).

O conceito PBN apresenta a mudança da operação baseada em sensores específicos para uma operação baseada em performance, do Inglês, "*Performance Based Navigation*". Nela são definidos requisitos de desempenho em termos de acuracidade, integridade, disponibilidade e continuidade do sistema de navegação das aeronaves, necessários para a operação dentro de um determinado Conceito de Espaço Aéreo.

A Navegação Baseada em Performance otimiza a estrutura dos trajetos de navegação, propiciando uma rota menor e muito mais precisa. Da mesma forma, especifica os requisitos de desempenho dos sistemas RNAV⁵ e RNP para cada tipo de operação. Com isso, as aeronaves não necessitam passar pelos pontos de apoio de navegação, podendo ser traçada uma reta entre o início e o destino de voo. (DECEA, 2021).

Tais requisitos podem ser atendidos pela integração de equipamentos situados no solo, no espaço (GNSS) e na própria aeronave. Os requisitos de desempenho estão identificados nas especificações de navegação, as quais indicam os sensores e equipamentos que podem ser empregados para satisfazer tais requisitos. (DECEA, 2021). Rotas superiores, por exemplo, recebem flexibilidade e passam a dispor de trajetórias de voos alternativas muito mais precisas, contornando situações meteorológicas adversas.

Verifica-se em Chujo (2017) que a RNPn especifica uma forma de navegação com acurácia de desempenho de navegação necessária para operar dentro de um espaço aéreo definido, atendendo a certos requisitos dados pelo número n, que acompanha RNP.

Existem especificações RNP e especificações RNAV. Uma especificação RNP (*Required Navigation Performance*) compreende o requisito de contar com monitoração e alerta de performance a bordo da aeronave, e está designada como um RNP X, em que "X" é o valor da exatidão de posicionamento horizontal, em milhas náuticas, fornecido durante a navegação aérea por, pelo menos, 95% do tempo de voo.

⁵ RNAV é o método de navegação que permite a operação de uma aeronave em qualquer rota ou curso desejado dentro da área de abrangência dos sinais de um auxílio à navegação ou das limitações de capacidade do sistema de navegação de bordo. (DECEA, 2021).

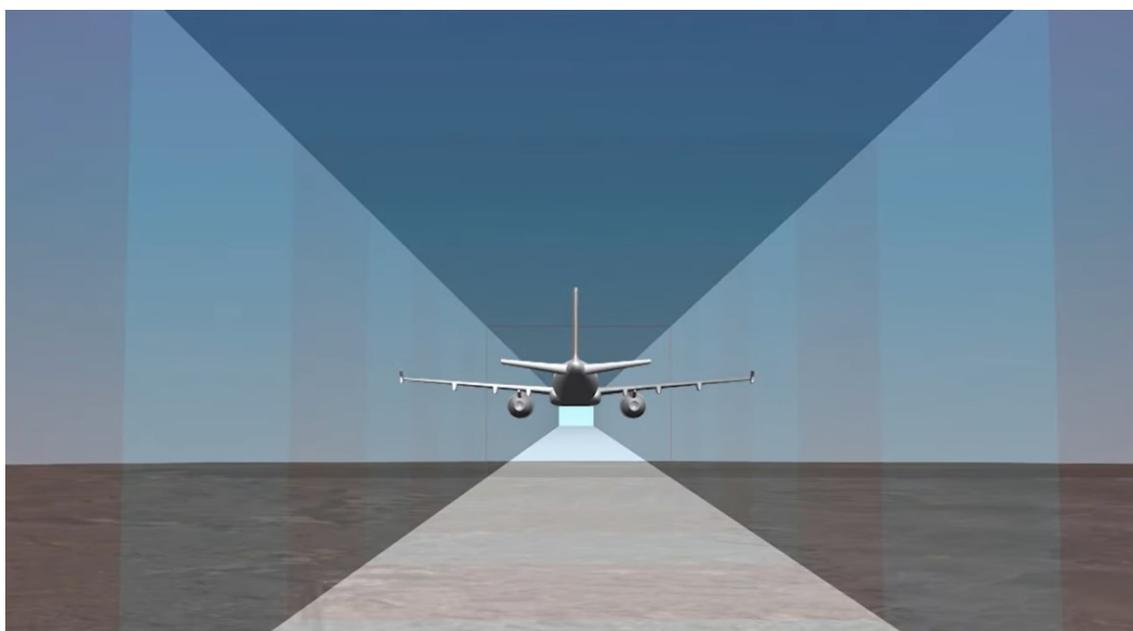
Uma especificação RNAV não prevê os requisitos de monitoração e alerta de desempenho a bordo da aeronave e, da mesma forma, está designada como RNAV X. A designação RNP, por exemplo, implica no fato de que a aeronave deverá manter um erro horizontal máximo de 4 NM durante 95% do tempo de voo.

Pode-se verificar em *Federal Aviation Administration Office of System Capacity* (FAA, 2002), com aplicação internacional, o desempenho de navegação necessária do RNP:

O desempenho de navegação necessário (RNP) define os requisitos de precisão do RNAV para uma variedade das operações. Por exemplo, as operações RNP do terminal são definidas como RNP-1, o que significa que o sistema de navegação da aeronave deve ser capaz de manter um erro total de mais ou menos uma milha náutica, 95 por cento do tempo. RNP especifica os requisitos de desempenho para a aeronave, mas não requer que uma aeronave seja equipada com um sensor de navegação específico. (FAA, 2002, tradução nossa).

A Figura 4 mostra a navegação RNAV e RNP por meio da performance de monitoramento da aeronave, assistidos pelos sistemas de bordo.

Figura 4: Navegação convencional, RNAV e RNP.



Fonte: Barros (s.d.)

As aeronaves voam confinadas em um duto virtual, que varia de tamanho conforme a dimensão da aeronave. Caso a aeronave se desloque para fora do duto virtual, é alertada de imediato pelo próprio sistema de bordo. Esse recurso

proporciona um aproveitamento do espaço aéreo, tornando mais eficiente o voo de aeronaves em um espaço com menores separações, como mostrado na Figura 4. (DECEA, 2021).

A navegação baseada em performance depende:

- a) de a aeronave estar equipada com sistema aprovado para atender aos requisitos funcionais e de desempenho de navegação especificados para as operações RNAV e/ou RNP⁶ em um determinado espaço aéreo;
- b) do cumprimento, por parte da tripulação de voo, dos requisitos operacionais estabelecidos pela entidade reguladora para as operações RNAV e/ou RNP;
- c) de um conceito definido de espaço aéreo, que inclua operações RNAV e/ou RNP; e
- d) da disponibilidade de uma infraestrutura adequada de auxílios à navegação aérea.

Conforme o DECEA, os principais benefícios da PBN são os seguintes:

- a) redução do tempo de voo das aeronaves, a partir da implementação de trajetórias ótimas de voo, gerando economia de combustível e, em consequência, redução das emissões nocivas ao meio ambiente;
- b) aproveitamento das capacidades RNAV e/ou RNP já instaladas a bordo de um significativo percentual da frota de aeronaves em operação;
- c) otimização das trajetórias de terminal e aproximação, em qualquer condição meteorológica, possibilitando que sejam evitados os aspectos críticos de relevo e atendidos os requisitos ambientais, por meio de trajetórias RNAV e/ou RNP;

⁶ RNP (Performance de Navegação Requerida) é uma declaração da performance de navegação necessária para a operação em um espaço aéreo definido. Por exemplo, a expressão "RNP 1" significa um requisito ou capacidade da aeronave de voar em uma determinada rota, permitindo-se um desvio lateral máximo de uma milha náutica para cada lado do eixo da rota, durante 95% do tempo. (DECEA, 2018).

- d) implementação de trajetórias mais precisas de chegada (STAR), aproximação (IAC) e saída (SID), reduzindo a dispersão e propiciando fluxos de tráfego mais previsíveis para o ATC;
- e) redução dos atrasos em rota, em TMA e em aeroportos com alta densidade de tráfego aéreo, a partir de um aumento na capacidade ATC e aeroportuária, propiciado pela implantação de rotas paralelas, de novos pontos de chegada e saída nas TMA e de procedimentos de aproximação com mínimos operacionais mais baixos;
- f) potencial redução na separação entre rotas paralelas, visando acomodar maior quantidade de tráfego aéreo no mesmo fluxo; e
- g) redução da carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo e do piloto, considerando que o emprego de trajetórias RNAV e/ou RNP reduz a necessidade de vetoração radar e de comunicações.

2.7.1 Espaço Aéreo Oceânico

Tendo em vista a baixa densidade de tráfego nos espaços aéreos oceânicos, não são esperadas, em curto prazo, modificações significativas no conceito de espaço aéreo vigente. Em médio prazo, a aplicação da RNP 10 no Corredor Europa-América do Sul, aliada ao emprego do ADS-C/CPDLC com requisitos de performance de vigilância e comunicações (RSP e RCP) previstos na implementação do conceito Comunicação e Vigilância Baseadas em Performance (PBCS), propiciará condições necessárias para a provisão de separações laterais e longitudinais otimizadas de até 30 NM. (DECEA, 2021).

A adoção de um serviço de vigilância efetivo na FIR Atlântico será realizada de forma concomitante com iniciativas conceituais para a melhoria do ATM naquele espaço aéreo, como o PBCS. O ADS-C continuará sendo empregado nesse espaço aéreo como meio alternativo para o serviço de vigilância.

2.7.2 Regiões de Informação de Voo (FIR)

É a região que inclui, de maneira contínua, a totalidade do espaço aéreo, compreendida por seus limites laterais e verticais. Nela são prestados os serviços de informação de voo e alerta.

No Brasil, os espaços aéreos, superior e inferior, são constituídos por cinco regiões de informação de voo (FIR- Amazônica, FIR-Recife, FIR-Brasília, FIR-Curitiba e FIR-Atlântico). Essas FIR estão dispostas de modo contíguo, cobrindo o território brasileiro e as águas oceânicas até o meridiano 010°, regiões oceânicas pertencentes ao Brasil. (GAVAZZI, 2018).

A ilustração da Figura 5 mostra as regiões de informação de voo.

Figura 5: FIR nacionais abrangidas pelo Sistema ATM Nacional



Fonte: DECEA (2021)

2.7.3 Considerações sobre o sistema ATM Nacional

O Sistema ATM Nacional tem responsabilidade sobre uma área de aproximadamente 22 (vinte e dois) milhões de Km². Está distribuído em 05 (cinco) Regiões de Informação de Voo e é composto por 05 (cinco) Centros de Controle de

Área, 41 (quarenta e um) Controles de Aproximação e 59 (cinquenta e nove) Torres de Controle.

2.7.4 Os Empreendimentos de Evolução do Sistema ATM Nacional

Os empreendimentos de evolução do Sistema ATM Nacional possuem níveis diferenciados, que vão desde uma situação mais genérica até uma mais específica, dependendo do nível de análise. Seus principais parâmetros são o movimento de tráfego aéreo e a capacidade de infraestrutura aeronáutica instalada.

2.7.5 O Planejamento do DECEA

O planejamento do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) orienta-se à integração das tecnologias, ao desenvolvimento de soluções e à aplicação de procedimentos que permitam a evolução dos serviços de navegação aérea em todo o espaço aéreo sob responsabilidade brasileira. O DECEA consolida a visão da Concepção Operacional ATM Nacional, DCA 351-2, em um plano de ação baseado em performance, que permite definir, juntamente com a Comunidade ATM, os empreendimentos que devem ser priorizados, com o objetivo de:

- a) uso mais racional do espaço aéreo;
- b) melhor eficiência do Gerenciamento do Tráfego Aéreo;
- c) redução da emissão de gases na atmosfera;
- d) redução de ruído em comunidades próximas aos aeroportos;
- e) redução da carga de trabalho de controladores e pilotos;
- f) redução de custos na provisão de serviços de navegação aérea; e
- g) prestação de melhores serviços aos usuários do transporte aéreo.

Essa implementação também visa aprimorar a participação da Comunidade ATM quanto à definição dos benefícios a serem atingidos e, conseqüentemente, possibilita uma melhor relação entre os benefícios e o custo dos investimentos a serem despendidos.

2.7.6 PCA 351-3/2012, do Plano de Implementação ATM Nacional do Departamento de Controle do espaço Aéreo do Comando da Aeronáutica

Esta abordagem do Plano de Implementação ATM Nacional tem o objetivo de elencar as ações advindas da implementação da navegação aérea baseada em performance no que diz respeito aos empreendimentos que devem ser priorizados. O Projeto que representa, no âmbito do SISCEAB, a implantação do Sistema ATM (Gestão do Tráfego Aéreo), é nomeado como SIRIUS.

Na nota, pode-se verificar a caracterização do projeto SIRIUS⁷, com a descrição de projetos e atividades requeridos para a implementação do Conceito Operacional ATM no Brasil.

2.7.7 Planejamento do Sistema ATM GLOBAL – OACI

No início da década de 80, o Conselho da OACI, tendo constatado um firme crescimento da aviação civil internacional, bem como o surgimento de novas tecnologias, entendeu que seria necessária uma completa análise e avaliação dos procedimentos e sistemas em uso.

Na oportunidade, reconheceu-se que a forma vigente de prover os Serviços de Tráfego Aéreo (ATS) e a estrutura do sistema de navegação aérea em geral estariam limitando o crescimento da aviação e inibindo a implementação de melhorias na segurança, eficiência e regularidade das operações aéreas.

2.7.8 Planejamento do Sistema ATM Nacional

Atendendo ao Conceito Operacional ATM Global, instituído com base nas recomendações da 11ª Conferência de Navegação Aérea, foi aprovada a “DCA 351-2 - Concepção Operacional ATM Nacional”, que apresenta a visão prospectiva para a evolução do Sistema ATM Nacional (PCA 351-3/2012).

⁷ SIRIUS: Empreendimentos que compõem o Programa estratégico do DECEA que abrangem ações nas áreas de Segurança; Gerenciamento do Tráfego Aéreo; Operações Militares; Comunicações, Navegação e Vigilância; Meteorologia Aeronáutica, Gerenciamento da Informação, Busca e Salvamento, Recursos Humanos; e Qualidade, Desempenho e Cooperação Internacional. (DECEA, 2018).

A referida concepção estabelece que o DECEA apresente um Plano de Implementação que defina a estratégia para a evolução do Sistema ATM Nacional, baseada em performance, visando atender às necessidades nacionais e assegurar uma evolução harmônica e integrada aos planejamentos Regionais e Global.

Para tanto, esse Plano adota as seguintes orientações específicas:

- a) Estar direcionado às atividades de evolução do Sistema ATM Nacional, as quais deverão ser desenvolvidas sob a responsabilidade do DECEA;
- b) Iniciar a aplicação do planejamento baseado em objetivos de performance, visando atender às necessidades nacionais e assegurar a evolução harmônica e integrada ao planejamento Regional;
- c) Empreender processos que estejam de acordo com os componentes do Conceito Operacional ATM Global, considerando as Iniciativas do Plano Global (GPI);
- d) Orientar para que o Sistema ATM Nacional seja implementado de forma evolutiva, estabelecendo objetivos e metas de performance, por meio do princípio da decisão colaborativa;
- e) Garantir que a estratégia de implementação relacionada à evolução do ATM Nacional seja consolidada pelos Subdepartamentos e pelas Organizações subordinadas, por meio de programas, projetos e atividades, tendo por premissa que tais planejamentos são resultado da análise da infraestrutura existente e do processo de decisão colaborativa, limitados pela capacidade de execução aplicada à manutenção e à operacionalização do atual sistema;
- f) Orientar para que as estratégias de implementação adotadas pelos Subdepartamentos e pelas Organizações subordinadas sejam validadas quanto à capacidade de atender aos objetivos e metas de performance do DECEA;
- g) Definir que os ciclos de planejamento do Sistema ATM Nacional deverão ser de períodos de cinco anos, consistindo-se de fases de curto e médio prazo, respectivamente 2012-2016 e 2017-2021, e de fase de longo prazo, que deverá contemplar ações a serem desenvolvidas e/ou concluídas a partir de 2022;

- h) Definir diretrizes específicas para a implementação das ações necessárias, ao estabelecer os empreendimentos de evolução do Sistema ATM Nacional e, em especial, considerar a evolução por meio de “atualização por blocos”, cujo conceito está em desenvolvimento na OACI; e
- i) Incorporar, progressivamente, as atividades de operacionalização e manutenção, bem como as ações necessárias à satisfação da integração do controle do espaço aéreo.

Os fatores de planejamento para o sistema ATM nacional, PCA 351-3/2012 princípios do sistema ATM nacional, reconhecem como função primária de um Sistema ATM possibilitar o voo de um aeródromo a outro dentro de um determinado espaço aéreo, livre de perigos, obedecendo aos limites de capacidade do Sistema e fazendo uso de todos os recursos de forma eficiente.

O Sistema ATM baseia-se na provisão de serviços resultantes da ação conjunta de todas as partes que o integram, como, o espaço aéreo, os aeródromos, as aeronaves, a infraestrutura tecnológica e os recursos humanos. Os princípios que regem o planejamento do Sistema ATM Nacional são:

- a) Segurança Operacional: a garantia de um Sistema ATM operacionalmente seguro é a mais alta prioridade no gerenciamento de tráfego aéreo, requerendo, assim, a implementação de um abrangente processo de gerenciamento da segurança, de modo a possibilitar que a Comunidade ATM alcance a eficiência desejada, mantendo sempre os níveis de segurança requeridos;
- b) Ser Humano: os seres humanos desempenham uma função essencial, e são o elemento central do Sistema ATM, responsáveis pela gestão do sistema, pelo monitoramento de performance e pela intervenção, quando necessário, de modo a assegurar que o sistema proporcione os resultados desejados; assim, é sempre oportuno considerar a importância da análise do impacto que os Fatores Humanos exercem na implementação, operação e manutenção do sistema, principalmente quanto aos aspectos relacionados ao ATCO;

- c) Tecnologia: as tecnologias disponíveis no mercado devem ser adotadas após exaustivos trabalhos de análise, de modo a garantir a correta aplicação daquela que melhor resultado possa apresentar.

2.8 MUDANÇAS NA COMUNICAÇÃO NO CONCEITO CNS-ATM

A comunicação entre pilotos e controladores pode representar um importante obstáculo ao desenvolvimento da aviação civil. A ocupação das frequências de rádio com a troca de informações necessárias ao controle do tráfego aéreo limita o número de aeronaves a serem atendidas por um controlador. Outro fator relevante é que as comunicações por rádio necessitam de uma grande infraestrutura de antenas de rádio e de estações transmissoras, bem como de apoio de manutenção, para que a operação aconteça. (BRAGA, 2017).

A análise do Sistema ATM e seu respectivo planejamento para um determinado volume de espaço aéreo permite a identificação de lacunas na performance do sistema atual e o estabelecimento de melhorias operacionais que as eliminem ou atenuem. Tais lacunas de performance servem de base para identificar os objetivos de performance, bem como seus indicadores, métricas e metas. Após identificados, esses objetivos devem ser confrontados às Iniciativas do Plano Global de Navegação Aérea (GPI), de forma a verificar quais são as GPI que resultam em benefícios ao usuário.

O Sistema ATM Nacional evolui com a implantação de melhorias operacionais, orientadas pelas GPI que melhor se ajustam às necessidades particulares do espaço aéreo nacional.

2.8.1 Principais benefícios

Os principais benefícios esperados com a mudança na comunicação no conceito CNS-ATM são:

- a) aumento da segurança nas aproximações e pousos, reduzindo a incidência de Colisão Contra o Terreno em Voo Controlado (CFIT);

- b) utilização de procedimento de aproximação por instrumentos para aeroportos localizados em áreas acidentadas, mantendo-se os níveis de segurança requeridos;
- c) redução de distâncias voadas e utilização de perfis de voo ótimos, reduzindo o consumo de combustível e, conseqüentemente, as emissões de CO₂
- d) melhoria na utilização da capacidade RNP das aeronaves; e
- e) redução dos mínimos operacionais, beneficiando a operacionalidade dos aeródromos.

2.8.2 A Inovação na Gestão Aeroportuária com Foco na Segurança da Operação Aeroportuária

Para uma melhor compreensão, este subitem busca esclarecer como surgiu um novo conceito de Navegação Baseada em performance, PBN SUL.

Mais uma vez, a OACI definiu diretrizes regulatórias para redução dos gases advindos da queima dos combustíveis das aeronaves. Durante a 39ª Assembleia Geral da OACI, em Montreal, ocorreu a aprovação da resolução da redução de emissão de carbono em escala global com relação ao transporte aéreo internacional. Essas diretrizes foram conhecidas como GMBM (*Global Market-Based Measure*). Como observado no capítulo anterior, novas cartas aeronáuticas de aerovias foram confeccionadas, sendo definidas rotas para planos de voo com distâncias mais curtas, com conseqüente redução de uso de combustíveis e de emissões de gás carbônico.

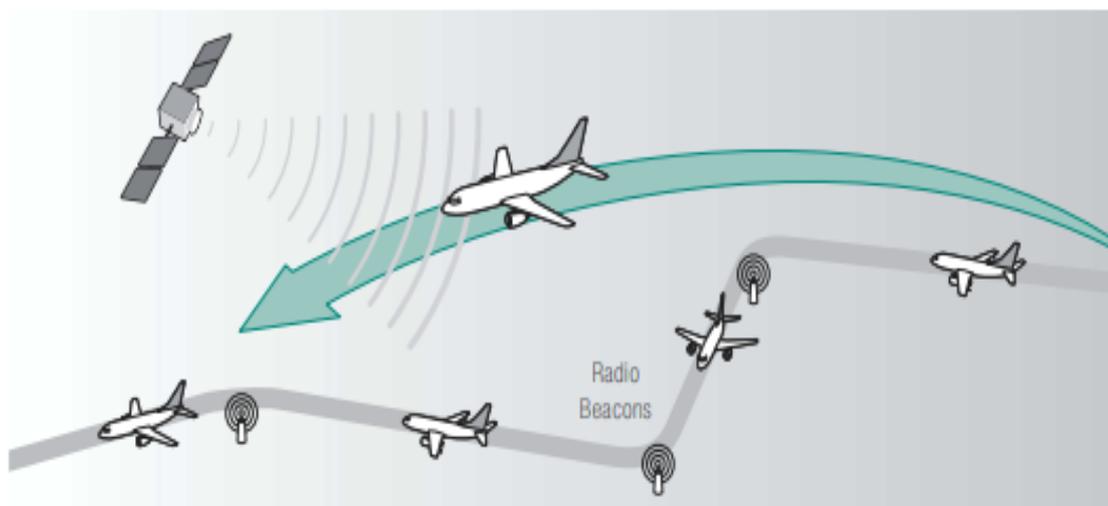
Conforme Pagliarini, Henkes e Garcia (2021), as distâncias percorridas por uma aeronave em Milhas Náuticas (NM) no sistema convencional em comparação às distâncias no PBN podem parecer insignificantes, mas, se somados os voos diários e multiplicados ao montante de um ano, os números são expressivos, tanto em consumo de combustível quanto em emissão de carbono. (PAGLIARINI; HENKES; GARCIA, 2021).

RNAV e RNP são rotas determinadas por auxílio de navegação terrestre. Ambas possuem requisitos que são necessários às operações propostas em um determinado espaço aéreo. Nesse contexto, os requisitos de desempenho e

funcionalidade são identificados nas especificações de navegação (por exemplo, RNAV 1). As especificações de navegação identificam a escolha de sensores de navegação e equipamentos aplicáveis para satisfazer aos requisitos de desempenho.

A ilustração da Figura 6 mostra esses conceitos.

Figura 6: Sistemas de rotas RNAV e rotas convencionais



Fonte: FAA (2002)

Com a modernização das aeronaves, o encurtamento de distâncias e a economia de tempo de deslocamento alcançados com o crescimento do setor de transportes aéreos, foi preciso envidar esforços no sentido de prover gestão para a garantia da segurança. Contudo, o espaço aéreo se encontrava limitado e necessitava de estruturação para a demanda da aviação. Assim sendo, novas tecnologias foram introduzidas provendo meios para o desenvolvimento global da aviação. As inovações são necessárias, e quando se acredita ter alcançado seu limiar, novas tecnologias de ponta são lançadas ou aprimoradas. Para tanto, a fim de situar o leitor, contextualiza-se o histórico da navegação aérea na gestão da segurança da arte de voar, visando esclarecer como ocorreu a evolução no setor aéreo.

No decorrer da década e 1980, a Organização de Aviação civil se confrontou com um crescimento vertiginoso da aviação. Verificou-se que o sistema de navegação já não atendia a demanda e, lançando um olhar ao futuro, percebeu-se

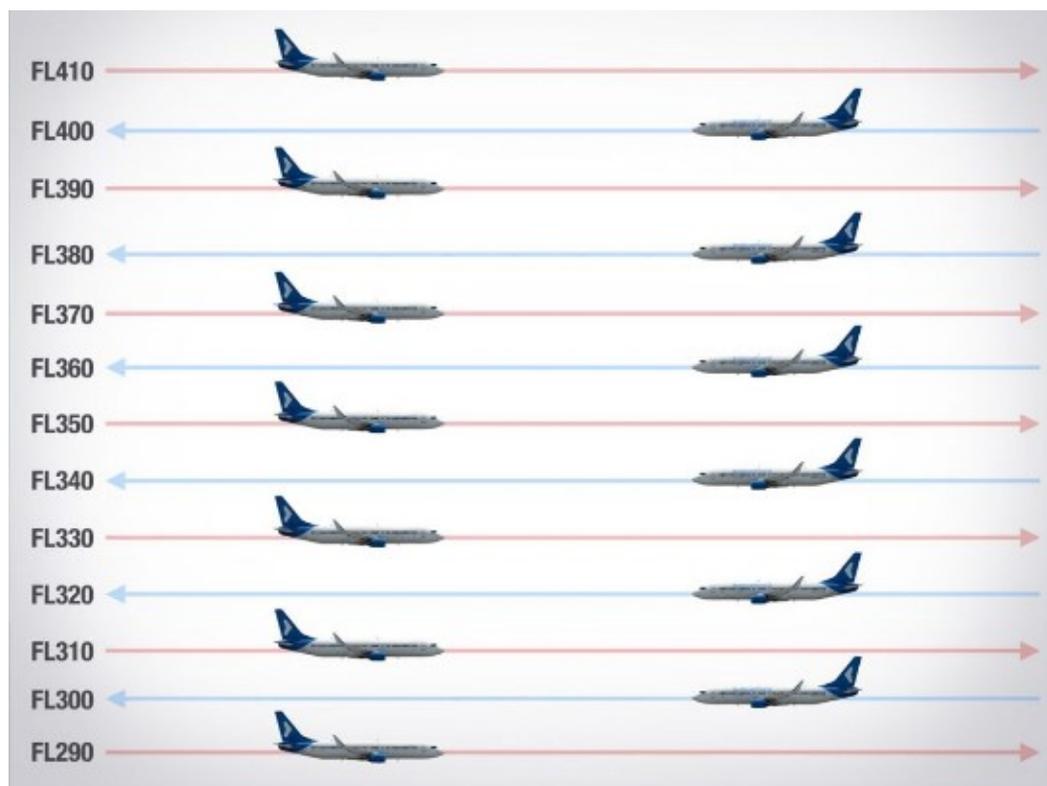
que os sistemas então vigentes não absorveriam suficientemente o atendimento da aviação civil do próximo século.

O conceito PBN foi desenvolvido, pois, para responder aos rigorosos requisitos do espaço aéreo. Fundamenta-se em dois conceitos-chave de navegação: Navegação de Área (RNAV) e Performance de Navegação Requerida (RNP). Diferentemente do conceito RNP, o conceito PBN é definido não só por performance (precisão, integridade, continuidade, disponibilidade), mas também por requisitos de funcionalidade (por exemplo, direção, caminho e exibição de interfaces) para sistemas RNAV e RNP. Esses requisitos são necessários para as operações propostas em um determinado espaço aéreo. (DECEA, 2018). Com a implantação do novo sistema, seria possível a prestação de serviços com segurança para atender a quantidade de voos nas aerovias.

Com o desenvolvimento da concepção ATM Nacional, com a DCA 351-2 de 2009, a implantação do novo sistema foi dividida em três partes, com o objetivo principal de: possibilitar a separação das aeronaves com segurança; realizar a substituição da voz na comunicação entre torre e pilotos, passando-se a usar a tecnologia digital; e permitir a precisão específica de localização no espaço aéreo. Segundo o DECEA, a fase inicial do projeto foi desenvolvida de 2005 a 2010, sendo as demais fases concluídas entre 2015 e 2020.

Como se pode observar na Figura 7, a separação das aeronaves, que consistia em 600 metros, foi reduzida pela metade, o que possibilitou a circulação de quatro aeronaves no corredor Brasil-Europa, quando antes era possível a passagem simultânea de apenas duas.

Figura 7: Aviões com separação vertical mínima



Fonte: DECEA (s.d.)

Com o RVSM (*Reduced Vertical Separation Minimum*) a separação vertical mínima entre as aeronaves em voo consiste em 1000 pés (300m).

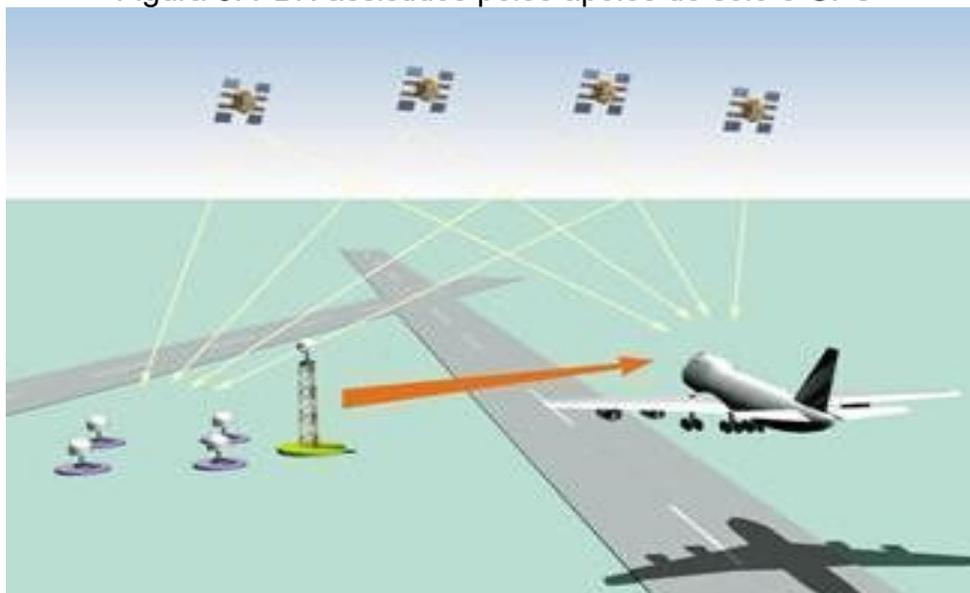
Hoje, estão em uso as tecnologias que utilizam a comunicação digital na interação entre pilotos e torre de controle.

São empregados, assim, sistemas de navegação orientados por satélites, como o GPS (*Global Position System*).

Essas tecnologias visam auxiliar as comunicações e a navegação das aeronaves, que passam a ter orientação com acurácia, obtendo maior precisão em relação ao sistema tradicional de auxílio à navegação.

A Figura 8 ilustra a capacidade de sinais de GPS, e precisão da PBN.

Figura 8: PBN assistidos pelos apoios de solo e GPS



Fonte: Baxter (2012)

O conceito PBN está baseado em três fundamentos interdependentes, conforme apresentado por Junior (2019). O primeiro está relacionado à capacidade e precisão dos equipamentos a bordo da aeronave; o segundo se refere aos serviços de tráfego aéreo prestados em rotas e procedimentos; e o terceiro diz respeito à infraestrutura de auxílios à navegação e à qualidade dos sinais GPS. Dessa forma, a capacidade de operação a partir desse novo conceito depende da aeronave, da infraestrutura e dos serviços prestados na área específica. (JUNIOR, 2019).

2.8.3 O CPDLC – Controller Pilot Data Link Communications

O CPDLC (*Controller pilot data Link communications*) é a ferramenta utilizada para a comunicação de dados entre piloto e controlador. Por meio de sua interface, pilotos fazem requisições e informes, por exemplo, através de comandos de texto, correspondentes a fraseologia convencional, que ficam dispostos numa tela como palavras-chave. O mesmo ocorre com as orientações, liberações e informações emitidas pelo controlador na tela da interface do CPDLC à sua frente. (DECEA, 2022).

Todo o sistema por voz pode ser otimizado, tornando possível a impressão de mensagens e a manutenção do conteúdo armazenado. Conforme Junior (2018), as

mensagens digitais já são uma realidade para as aeronaves que cruzam o espaço aéreo brasileiro sobre o Atlântico com destino aos demais continentes.

Uma vez instalado o CPDLC, pode-se obter os benefícios que dele advém, como a elevação do nível de segurança em todos os segmentos da aviação, uma vez que o sistema visa evitar erros de interpretação. A comunicação entre pilotos e controle de tráfego aéreo ocorre por meio de enlace de dados para comunicações, Controle de tráfego aéreo (ATC), utilizando mensagens pré-formatadas e universais. A torre de controle de tráfego aéreo pode emitir orientações de nível de voo, de mudança de rotas, além de outras informações vitais para a segurança da aviação.

Este capítulo buscou apresentar pressupostos da navegação baseada em performance, contextualizando os princípios centrais dessa tecnologia, bem como os benefícios esperados com a implementação de tal sistema.

Os arcabouços metodológicos, apresentados no referencial teórico serviram de instrumento para concluir que as tecnologias são necessárias para o controle, segurança e otimização do transporte aéreo. Com as tecnologias empregadas através da PBN, ocorreu a nova estruturação do espaço aéreo, que trouxe incrementos positivos para o transporte e o controle do tráfego aéreo e comunicações.

No capítulo seguinte, são apresentadas as características da metodologia empregada, bem como as estratégias que serviram de norte para atingir o desempenho desejado desta dissertação.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, são detalhadas as características da presente dissertação no tocante à metodologia. Além da apresentação do tipo de pesquisa, são detalhados os procedimentos metodológicos, como a caracterização da pesquisa e as estratégias de pesquisa utilizadas.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Em uma abordagem inicial e não exaustiva, a metodologia do trabalho propõe pesquisa básica, descritiva e qualitativa, por meio de revisão integrativa e sistemática da literatura do Portal de Periódicos da Capes, do Google Academy, da literatura do ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica) e de Regulamentos do DECEA, do Comando da Aeronáutica e da aviação civil e do ICAO.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.2.1 Caracterização da Pesquisa

O presente trabalho está sedimentado como pesquisa explicativa, realizada através de uma revisão integrativa com busca sistemática, pois aborda assuntos de pesquisa de revisão literária de forma descritiva, por meio de procedimento bibliográfico e documental associado a abordagens qualitativas. Para Gill (2008, p. 42), a pesquisa explicativa “é a que tem como objetivo geral analisar e correlacionar fatos ou fenômenos, podendo também explicar as razões da ocorrência de determinados fatos”.

A revisão sistemática da literatura visa reunir artigos científicos que tratam da mesma temática, e são oriundos de diversos autores. Conforme Perissé et. al. (2001) “revisão sistemática é a aplicação de estratégias científicas que delimitem o viés de seleção de artigos, avaliem com espírito crítico os artigos e sintetizem todos os estudos relevantes em um tópico específico” (PERISSÉ et.al., p. 131).

Conforme Cordeiro et. al. (2007) a revisão sistemática possui um planejamento para a investigação científica sobre o tema, com emprego e métodos

rígidos identificar, eleger, analisar e apresentar os pontos denotáveis para verificações.

A revisão integrativa de literatura é uma metodologia que tem como finalidade sintetizar resultados obtidos em pesquisas sobre um tema ou questão, de maneira sistemática, ordenada e abrangente.

Segundo Botelho, Cunha e Macedo (2011) o uso desse procedimento deve ser escolhido quando se quer realizar “a síntese e análise do conhecimento científico já produzido sobre o tema investigado” (BOTELHO; CUNHA; MACEDO, 2011, p. 133).

A revisão da literatura tem como objetivo elaborar um resumo das informações existentes sobre determinados fenômenos, de maneira completa, meticulosa e imparcial. Casarin et. al. (2002) afirmam que as revisões de literatura são modelos aplicados a estudos que proporcionam o desenvolvimento de uma síntese da temática, de forma a disponibilizar o estado da arte do tema.

Conforme Barros e Lehfeld (2014), a pesquisa documental e/ou bibliográfica e as pesquisas de campo são englobadas pela pesquisa descritiva, não havendo interferência do pesquisador. Sendo assim, descrevem o objeto de pesquisa. Para Severino (2013), a pesquisa bibliográfica é realizada a partir do registro disponível de pesquisas anteriores e de documentos impressos em livros, artigos e teses, entre outros.

Com referência à pesquisa documental, o autor cita que a fonte de documentos é ampla, ou seja, são considerados não só documentos impressos, mas, sobretudo, outros tipos de documentos, como jornais, fotos, filmes, gravações e documentos legais. O autor ainda afirma que a abordagem qualitativa “faz referência mais a seus fundamentos científicos do que propriamente a especificidades metodológicas” (SEVERINO, 2013, p. 92).

3.2.2 Estratégias de Pesquisa

No âmbito desta dissertação, os trabalhos de consulta foram realizados nos portais CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e *Google Academy*. Também se optou por realizar buscas na Biblioteca de trabalhos do ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica). Ainda assim, foram

coletados dados em Regulamentos civis e militares, e também em Diretrizes do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo).

Dessa forma, o processo de buscas se iniciou em agosto de 2021. Foram pesquisados artigos publicados em português para um melhor entendimento e para possibilitar o confronto de autores que abordam o mesmo assunto ou a mesma temática em diferentes situações. Tais materiais foram utilizados para a realização das análises de dados.

Em paralelo, também foram pesquisados artigos científicos editados em língua inglesa, bem como documentos e instruções que abarcam o assunto para catalogação e análise dos dados obtidos.

Após as consultas, foi verificada a aderência da temática dos artigos selecionados. Nesta etapa, foram encontrados 27 registros, conforme evidencia o Quadro 1.

Quadro 1: Seleção de artigos por base de dados

Descritores	Total de Registros: 27	
	CAPES	Google Academy
<ul style="list-style-type: none"> • PBN • Navegação aérea • Auxílio à navegação aérea 	13	14

Fonte: própria do autor (2022)

O Quadro 2 apresenta 20 publicações que foram analisadas e que subsidiam esta pesquisa. Contudo, ainda foram consultados outros trabalhos científicos e acadêmicos e periódicos e que abordam os assuntos dos descritores, com o objetivo de analisar contribuições semelhantes aos pretendidos por esta dissertação.

Quadro 2: Estudos que subsidiaram as pesquisas

Título da obra	Data	Autoria da obra
Navegação Aérea Segundo o Conceito CNS/ATM: Custos e Benefícios.	2005	Siqueira, Cristiani de Araújo
A Mensuração de Desempenho do Sistema de Controle do espaço Aéreo - SISCEAB através do <i>Balanced Scoregard</i> .	2008	Souza, Marco Aurélio de Azevedo
Uma Aplicação do Conceito de Navegação Baseada em Performance: Análise das Rotas ATS de Salvador.	2009	Bastos, Alexandre Dutra
Mensuração dos Benefícios pela Introdução dos Procedimentos de Navegação Baseados em Performance (PBN)	2014	Pamplona, Daniel Alberto
Poder Aeroespacial e Tráfego Aéreo: Impactos da Implementação de Projetos de Navegação Baseada em Performance.	2016	Pinheiro, Marcelo de Lima
Potenciais Aplicações Estratégicas do sistema CNS/ATM	2017	Chujo, Amália Massumi
Navegação Aérea Baseada em Performance (PBN): Vantagens Frente à Navegação Aérea Convencional	2018	Scussel, Marcelo
Evolução dos Métodos de Navegação e Implantação do PBN no Brasil.	2018	Michels, T. A.
A nova Circulação Aérea Brasileira: Melhoramentos nos Sistemas de Navegação e Comunicação.	2018	Oliveira, M. M.
A influência do PBN-Sul na Navegação Aérea e no Meio Ambiente do Brasil.	2019	Costa Junior, M. A.
Navegação Aérea e Seus Constantes Desafios no Uso de Novos Procedimentos e Sistemas Facilitadores.	2019	Costa, E. S.
Análise da Demanda de Tráfego no Espaço Aéreo: Estudo de Caso da Terminal São Paulo.	2020	Camacho, Isabela Gomes da Fonseca
Tecnologias de Navegação Aérea por GNSS e DGNS para Operações CNS/ATM.	2020	Chujo, Amália Massumi
Presente e Futuro da Navegação Aérea: Operações PBN e Tecnologias de Apoio.	2020	López-Iago, M; Serna, J; R Casado
Novos Sistemas de Navegação Aérea e Seus Benefícios: CNS/ATM.	2020	Simões, V.J.T.D.
Sistemas de Navegação Aérea: Benefício que o Sistema de Navegação GNSS Proporcionou à Aviação Executiva.	2020	Martins, R. Z.
Tecnologias de Navegação Aérea: Uma Abordagem Sobre a Navegação de Área por GPS e ADS-B.	2020	Stoffel Filho, J.
Análise de Segurança dos Procedimentos GNSS da Operação paralela das pistas do Aeroporto de Guarulhos.	2021	Gentil, Rodrigues Rodrigo
O Impacto da Implementação da Navegação Baseada em Performance Para as Rotas Mais Voadas do Sul do Brasil.	2021	Pagliarini, A. M.;Garcia, C. M.
Transição da Navegação Convencional à Navegação Baseada em Performance.	2022	Lourenço, P. L; Bernardes, L. F.

Fonte do autor (2022)

3.2.3 Quanto ao instrumento de produção

Quanto ao instrumento de produção, o trabalho foi realizado através de entrevista semiestruturada, com o fito de responder ao questionário do anexo A, sendo um instrumento de produção de dados, com uma abordagem qualitativa, que será descrito a seguir.

No período de pesquisa e busca de respostas para as proposições quantitativas do objeto de pesquisa do objetivo específico “d”, entrevistou-se o Especialista de Controle de Tráfego Aéreo, Capitão Marco Túlio Maciel, que exerce suas funções no DTCEA de Florianópolis, profissional colocado à disposição para atendimento aos questionamentos.

Perguntou-se quanto ao gargalo de redução de distâncias voadas nos trechos-alvo deste estudo, com a finalidade de elucidar parte dos quesitos da problemática deste trabalho.

Para atingir o objetivo, foi necessário realizar entrevista semiestruturada aplicada com o profissional de controle do espaço aéreo brasileiro. O local sugerido para a entrevista foi o DTCEA de Florianópolis. Esse Destacamento está situado em área militar, sendo subordinado ao Comando da Aeronáutica.

O militar designado para acompanhamento e atendimento às solicitações de esclarecimentos, frente ao questionário semiestruturado, possui a formação de Especialista em Controle de Tráfego Aéreo, e tem experiência de três décadas na função. Atualmente, possui o posto de Capitão e exerce o cargo de Chefe de setor de controle do espaço aéreo de Florianópolis - SC.

A seguir, o leitor passa a identificar os autores que foram pesquisados no que diz respeito à entrevista semiestruturada e suas definições.

A entrevista semiestruturada, sendo um instrumento de produção de dados, utilizada com abordagem qualitativa, caracteriza-se pela “obtenção de informações de um entrevistado sobre determinado assunto ou problema”, como apresentam Prodanov et. al. (2013, p. 106).

Conforme Gil (2008), a entrevista semiestruturada pode ser definida como a técnica em que o investigador se apresenta frente ao investigado e formula perguntas com o objetivo de obter dados que interessam à investigação. A entrevista é, portanto, “uma forma de interação social” (GIL, 2008, p. 109).

Nesta pesquisa, a entrevista foi utilizada para elucidar os motivos que levaram à majoração das distâncias das rotas dos aeroportos de Guarulhos e Congonhas a Florianópolis.

Manzini (2004) apresenta a entrevista semiestruturada como apoiada em teorias e hipóteses que se relacionam ao tema da pesquisa, a partir da “utilização de um roteiro previamente elaborado”. (MANZINI, 2004, p. 1). O roteiro da entrevista semiestruturada intencionou produzir as informações necessárias, como forma de organizar o processo de interação com o entrevistado, a fim de abstrair os dados mais relevantes que foram sendo apresentados.

A entrevista, que teve a duração de uma hora e vinte minutos, proporcionou esclarecimentos técnicos e operacionais, permitindo entender as demandas operacionais que são preconizadas e problematizar as majorações encontradas nos deslocamentos dos trechos em análise.

Como forma de orientar o entrevistado, explicou-se a finalidade das informações, mencionado que a pesquisa proposta tinha fins exclusivamente acadêmicos.

Diante das respostas e informações ligadas ao tema, o questionário semiestruturado possibilitou entender os benefícios advindos com a implementação da navegação baseada em performance e as consequentes mudanças tecnológicas e operacionais que esse sistema proporcionou. As análises desse material estão contidas no capítulo 4, subitem 4.3 “A análise dos dados”.

O capítulo seguinte visa demonstrar a aplicação prática dos avanços tecnológicos, comparando os períodos anterior e posterior à implementação da PBN na aviação civil brasileira.

4 APLICAÇÃO PRÁTICA DOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS

4.1 INTRODUÇÃO DO CAPÍTULO

Este capítulo busca identificar e analisar as distâncias voadas nos períodos anterior e posterior à implantação da Navegação Baseada em Performance em uma situação hipotética de voos da aviação civil. Para tanto, são considerados os trechos de Guarulhos e Congonhas a Florianópolis, conforme objetivo específico desta dissertação que busca dar subsídios aos questionamentos propostos.

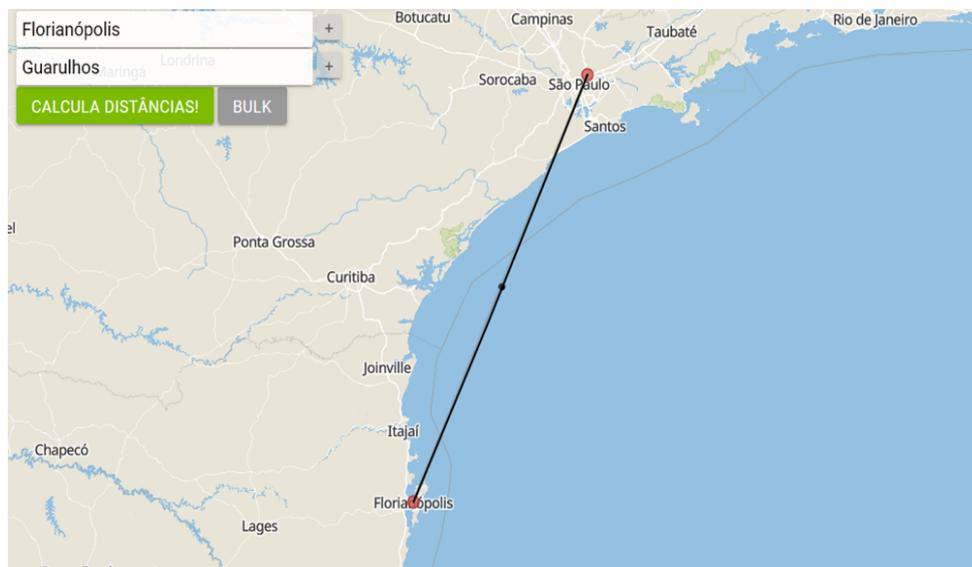
O PBN, como já dito, apresenta diversos benefícios em comparação ao modelo convencional. Dentre as muitas vantagens listadas, talvez a principal seja a redução de distâncias, como apontam as pesquisas de Pagliarini, Henkes e Garcia (2021) e Scussel (2018), que descrevem as procedências e os destinos, correlacionando as distâncias voadas em período anterior e posterior à implantação do PBN.

4.2 COMPARAÇÕES DE DISTÂNCIAS VOADAS NOS TRECHOS GUARULHOS E SÃO PAULO - CONGONHAS A FLORIANÓPOLIS

A presente análise se delimita às distâncias e rotas aferidas entre o aeroporto de Florianópolis e os dois principais aeroportos de São Paulo. A Figura 9 evidencia um desses trajetos (Florianópolis – Guarulhos e Congonhas). A rota utilizada pelas companhias aéreas para a realização do voo de regresso a Florianópolis sofre um desvio frente ao complexo número de aerovias que atendem chegadas e partidas.

A Figura 9 ilustra o trajeto de voo utilizado pelas companhias aéreas em voos que partem de Florianópolis com destino aos principais aeroportos da Cidade de São Paulo, após a implementação da PBN.

Figura 9: Trecho de voo com o PBN



Fonte: www.brasildistancia.com/distance/23030295-23003079 (2022, adaptado pelo autor)

Os estudos apresentados por Pagliarini, Henkes e Garcia (2021) demonstram um quantitativo de milhas voadas em cada trecho das principais rotas entre os mais importantes aeroportos da aviação brasileira. Na pesquisa, a distância voada com procedência de Florianópolis com destino ao aeroporto de São Paulo (CGH) apresenta o quantitativo em milhas voadas em período anterior à concepção do PBN (291,86 NM), ou seja, quando as aeronaves não possuíam uma trajetória retilínea e eram apoiadas por antenas NBD com torres de antenas instaladas no solo.

Com o advento do PBN, as distâncias foram reduzidas em aproximadamente 5,19%, diminuindo o percurso da rota aérea de Florianópolis ao aeroporto de Congonhas em 15,16 NM. Da mesma forma, conforme as cartas aeronáuticas, a rota aérea de Florianópolis a Guarulhos, cuja distância anterior à implantação do PBN era de 315,64 NM, sofreu redução de aproximadamente 1,38%, ou seja, de 4,34 NM.

Semelhante comparação foi realizada considerando os aeroportos de Congonhas e Guarulhos como ponto de partida, com destino à Florianópolis. A distância de SBSP a SBFL antes do PBN era de 275,9 NM, e após o PBN a trajetória passou a 294,6 NM, sendo majorada em aproximados 6,75%, um incremento de 18,62 NM. Da mesma forma, no trecho de Guarulhos à Florianópolis, a rota anterior ao PBN aferia uma distância de 300,18 NM, e também foi majorada

em 7,38%, apresentando 22,15 NM a mais, a trajetória passou a 322,33 NM, com as novas cartas a partir da implantação do PBN. (DECEA, 2018).

O Quadro 3 ilustra as distâncias percorridas sem a implementação do PBN e com a PBN. Os dados foram retirados de cartas aeronáuticas do DECEA.

Quadro 3: Cartas aeronáuticas do DECEA

Procedência	Destino	Distância percorrida sem PBN	Distância percorrida com PBN	Percentual %	Distâncias majoradas +
SBSP (CGH)	SBFL (FLN)	275,98 NM	294,6 NM	+ 6,75 %	+18,62 NM
SBGR (GRU)	SBFL (FLN)	300,18 NM	322,33 NM	+7,38 %	+ 22,15 NM

Fonte: Adaptado de Pagliarini, Henkes e Garcia (2021)

O Quadro 3 apresenta a comparação das distâncias dos trechos de Guarulhos e São Paulo a Florianópolis sem a implementação do PBN e com a PBN, evidenciando as distâncias aferidas quando da utilização de equipamentos de solo, bem como as distâncias percorridas após a implementação da Navegação Baseada em Performance. Também estão descritas as porcentagens e as distâncias majoradas em cada trajeto de voo.

Conforme estudos estatísticos da IATA que consideram valores aproximados para cálculo de emissão de gases provenientes da queima do QAV, há um consumo de 11 quilogramas de combustível por milha náutica (NM). Dessa forma, é possível estimar os valores que poderiam ser economizados em cada trecho (aeroporto de Congonhas a Florianópolis e aeroporto de Guarulhos a Florianópolis) a partir desse incremento de 18,62 NM e 22,15 NM, respectivamente. (DCA 351-2/2011).

Ao realizar esse produto, verifica-se que poderiam ser economizados 204,82 quilogramas de QAV no primeiro trecho e 243,65 quilogramas de QAV no segundo percurso. Considerando o número de voos realizado entre esses trechos, em um ano, haveria uma expressiva economia com QAV⁸, e seu consequente valor monetário.

⁸ QAV, querosene de aviação, também conhecido pela sigla QAV-1, é o combustível utilizado em aviões e helicópteros dotados de motores à turbina, como jato-puro, turboélices ou turbofans. (<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/aviacao/querosene-de-aviacao/>).

O Quadro 4, a seguir, ilustra os dados obtidos:

Quadro 4: Produto do consumo de QAV X distâncias percorridas.

Procedência	Destino	Consumo em quilogramas de QAV por NM	Distâncias a mais percorrida por NM	Produto: Consumo X Distância
CGH	FLN	11kg	18,62 NM	204,82 kg
GRU	FLN	11kg	22,15 NM	243,65 kg

Fonte do autor (2022)

4.3 A ANÁLISE DOS DADOS

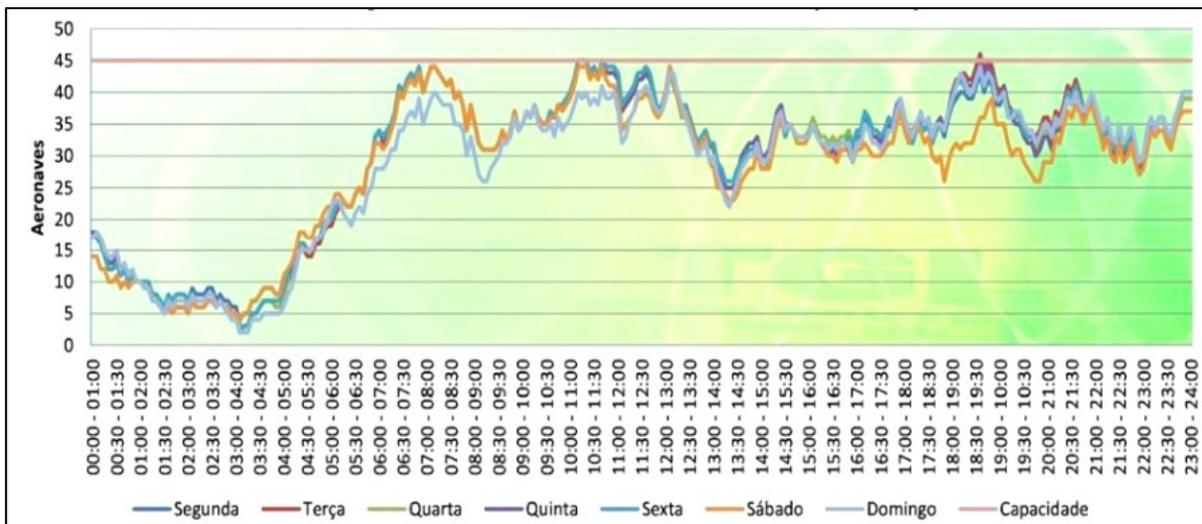
Ao se desvelar o postulado de que as aeronaves realizam suas rotas em linha reta e considerando o pressuposto de que o espaço aéreo é finito, mesmo com o advento do PBN e de demais tecnologias de apoio às atividades de navegação, as aeronaves necessitam de acomodação nas rotas aéreas, e há necessidade de atender as orientações de cada aeródromo. O fato de uma aeronave navegar guiada por uma carta em aerovias pré-determinadas não dá a prerrogativa de um pouso imediato em função dos constantes gargalos existentes nos aeroportos que recebem aeronaves de todo o mundo.

As aeronaves, ao se aproximarem do aeródromo, encontram-se em uma região APP (aproximação) que restringe o pouso em determinadas situações, como: grande fluxo de partidas e chegadas de aeronaves nos horários de maior pico, bem como fenômenos atmosféricos, que podem restringir determinados procedimentos de pouso.

No que tange à demanda dos aeroportos alvo de estudo desta pesquisa, as imagens a seguir evidenciam o fluxo nos diferentes horários e dias da semana.

O Gráfico 1 mostra a demanda X capacidade do aeroporto de Guarulhos:

Gráfico 1: Demanda e Capacidade – Aeroporto de Guarulhos



Fonte: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (s.d, adaptado pelo autor)

O Gráfico 2 evidencia a demanda X capacidade do aeroporto de Congonhas:

Gráfico 2: Demanda e Capacidade – Aeroporto de Congonhas



Fonte: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (s.d, adaptado pelo autor)

Considerando esses fluxos, o Controle de tráfego Aéreo atende ao que está preconizado nas regras que interferem na capacidade de um aeroporto, dando prioridade de descida às aeronaves que estão próximas ao APP, uma vez que as aeronaves não podem ocupar simultaneamente uma mesma pista.

4.4 ENTREVISTA COM O DTCEA - FL

Na conclusão de seus estudos, Pagliarini, Henkes e Garcia (2021) sugeriram, como possibilidade de pesquisa, a abordagem do porque da ocorrência de majoração nos trechos voados entre os aeroportos de GRU e CGH a Florianópolis após a implantação do PNB, tendo por princípio a gestão da segurança. Dessa forma, este trabalho busca responder à proposição dos autores citados, buscando respostas que deem conta de explicar a majoração de distâncias voadas entre os aeroportos de Congonhas – (CGH) e Guarulhos – (GRU) à Florianópolis.

Para auxiliar a encontrar os motivos desse incremento nos trechos em análise, este autor foi em busca de subsídios que pudessem elucidar as causas da não otimização de rotas aéreas. Assim, as indagações foram lançadas aos especialistas em Controle do Espaço Aéreo do DTCEA de Florianópolis, com o objetivo de esclarecer as lacunas existentes quanto à problemática do presente trabalho, o que foi realizado por meio de questionário semiestruturado.

4.5 QUESTIONÁRIO

Realizou-se a aplicação de um questionário, conforme Apêndice A, à organização responsável pelo controle de tráfego aéreo, com a finalidade de obter respostas sobre a implementação da PBN e suas contribuições ao transporte aéreo. Assim, utilizou-se a entrevista semiestruturada, composta por um roteiro organizado pela linha de interesse que aborda o PBN, a confecção de cartas aéreas, o comportamento das TMA'S, a relação das distâncias voadas das aeronaves nos trechos das análises (Guarulhos e Congonhas a Florianópolis) e as condições que interferem nas operações aéreas.

Com isso, foram produzidos dados de investigação para complementar os objetivos desta pesquisa. As questões foram estruturadas à luz dos objetivos planejados. O objetivo foi reconhecer as operacionalidades que são desenvolvidas no setor aéreo em suas especificidades, como: a PBN, o controle do espaço aéreo, a utilização de computadores e GPS, o entendimento das cartas aéreas e o controle de aproximação para pouso e decolagens.

Com o roteiro, teve-se a preocupação de obter respostas técnicas e de organizar o processo de interação com o entrevistado, tendo como prerrogativa obter o máximo de clareza nas respostas e definições.

Destaca-se que a entrevista semiestruturada é composta por questionamentos básicos apoiados em teorias e definições que se relacionam ao tema da pesquisa, e que tem como característica, segundo Manzine (2004, p.1), “a utilização de um roteiro previamente elaborado”. (MANZINI, 2004, p. 1).

4.6 RESULTADOS

A entrevista semiestruturada foi realizada com o profissional que desempenha o cargo de chefe do setor de controle do espaço aéreo. Ele é formado em controle de tráfego aéreo e possui experiência de 30 anos na atividade.

A entrevista, que teve a duração de uma hora e vinte minutos, proporcionou esclarecimentos técnicos e operacionais, permitindo entender as demandas operacionais que são preconizadas e problematizar as majorações encontradas nos deslocamentos dos trechos em análise (vide objetivos específicos, letra “d”). A entrevista ocorreu no DTCEA-FL, de forma presencial, visto que as instalações são sediadas em área militar, o que possibilitou o acesso do pesquisador, que pertence ao efetivo do Comando da Aeronáutica. Com isso, houve imediata disposição do profissional para atender à entrevista. Cabe salientar que este pesquisador informou ao entrevistado que o questionário tinha fins exclusivamente acadêmicos.

Como resposta ao questionamento, os profissionais explicaram que há constantes e acirradas solicitações ao DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), órgão responsável pelo controle do espaço aéreo brasileiro, no sentido de otimizar as rotas em determinados trechos. A solicitação prende-se ao fato de que as empresas necessitam diminuir gastos com combustível e manutenção das aeronaves, o que pode ser alcançado com a redução das milhas náuticas dos voos, o que representaria, ao final de cada mês, significativa economia de QAV (querosene de aviação).

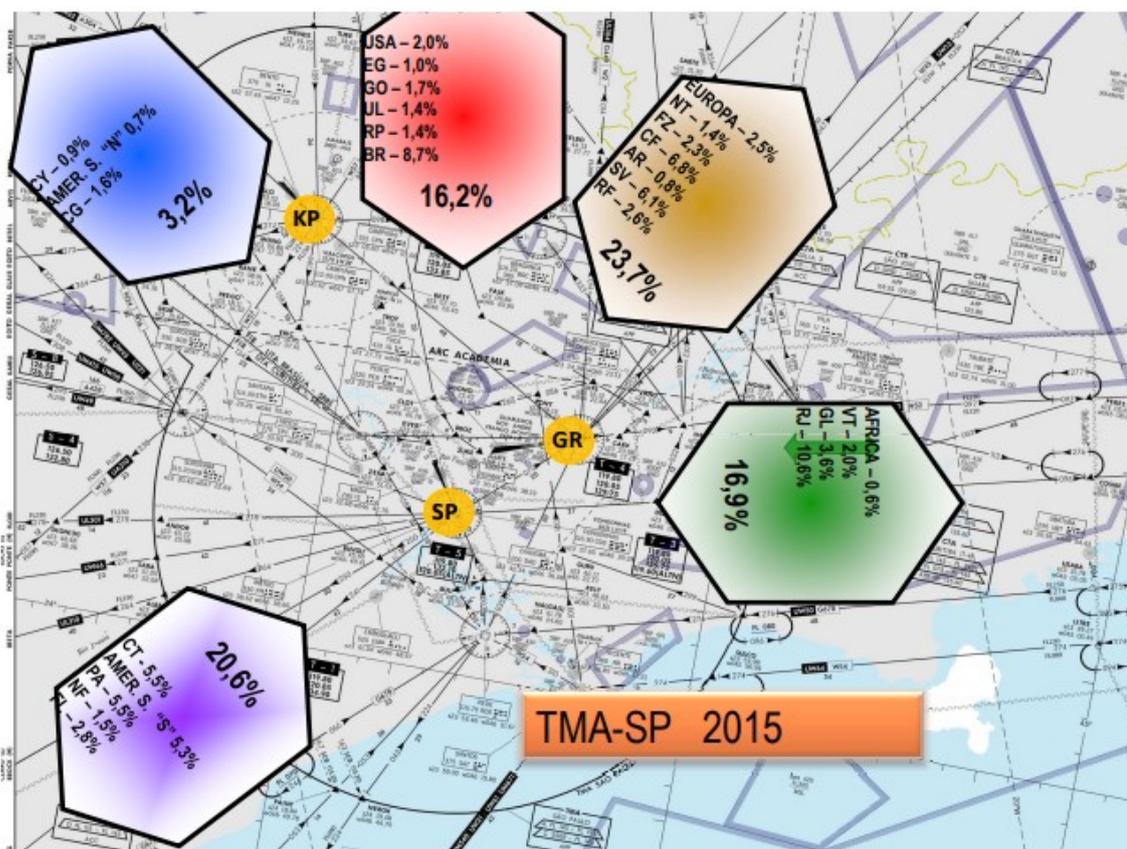
Conforme o Especialista em Controle de Tráfego Aéreo do DTCEA-FL, o gargalo se encontra nos grandes centros, como nos aeroportos de Guarulhos e Congonhas; o primeiro é provido por uma pista principal de decolagem e pouso de

aeronaves com 3.700 metros e uma secundária com 3.000 metros, e o segundo por uma pista principal de 1.940 metros, fato observado nos aeroportos em análise.

O fato de existir um número expressivo de chegadas e partidas demanda a concentração de controle em períodos de grande movimento em função de negócios, trabalho e turismo nos grandes centros, ou ainda em horários de maior interesse por parte dos usuários do transporte aéreo. Outro fator que impede a chegada e mesmo a saída de aeronaves, segundo explicação do Especialista, é o fluxo dos *fingers*⁹, equipamentos que são utilizados tanto para receber os usuários que embarcam quanto os passageiros que desembarcam de aeronaves.

A Figura 10 ilustra a TMA dos aeroportos de São Paulo e os movimentos de aeronaves que utilizam os terminais aéreos.

Figura 10: Carta de rotas aéreas TMA-SP



Fonte: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (s.d, adaptado pelo autor)

⁹ Termo em Inglês utilizado na área operacional, sendo apropriado ao português, definido como Equipamento que faz a conexão entre o terminal de passageiros (TPS) e a porta da aeronave, possibilitando o embarque e desembarque. (ANAC, 2006).

Dito isso, o Especialista do DTCEA complementou que o maior problema está no deslocamento com partidas dos aeroportos de Guarulhos e Congonhas, em razão do número de voos que estão no APP (aproximação) e das partidas simultâneas, como se pode verificar na Figura 10. Dessa forma, o mesmo voo que parte de Florianópolis e realiza trajetória retilínea, não tem a mesma dinâmica no deslocamento de Guarulhos e São Paulo(CGH) a Florianópolis.

A caracterização dessa mudança de trajetória se resume na segurança e no afastamento das aeronaves do conglomerado de rotas aéreas existente nos aeroportos. Portanto, as aeronaves devem sair de seu eixo para deixar livre o APP, realizando o procedimento de contornar a zona de gargalo para liberar as demais aeronaves que partem e aterrissam quase ao mesmo tempo.

A Figura 11 detalha esses procedimentos na malha aérea.

Figura 11: Malha aérea

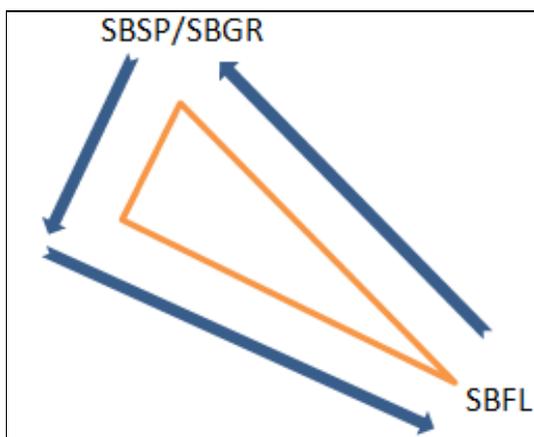


Fonte: DECEA (s.d)

Com objetivo de otimizar tempo e de não aguardar para seguir ao destino, as aeronaves realizam o contorno dos grandes centros em suas partidas, aumentando as distâncias voadas em NM, porém, por vezes, economizando tempo para não haver atraso na chegada aos destinos. Nesse contexto, um trecho adicional de 20 NM, que pode ser percorrido em apenas sete minutos, acaba evitando esperas desnecessárias em solo.

A Figura 12 ilustra o trajeto hipotético da malha aérea entre os aeroportos de São Paulo a Florianópolis.

Figura 12: Trecho hipotético da malha aérea, SBSP/SBGR – FL.



Fonte: Própria do autor (2022)

A Figura 12 evidencia que os voos de Guarulhos e São Paulo (Congonhas) a Florianópolis têm a trajetória semelhante a um triângulo pitagórico, em que os catetos são as rotas com desvio das interseções na malha aérea. O Especialista¹⁰ entrevistado exemplificou utilizando uma figura análoga, referindo-se à forma como os voos partem de Florianópolis de maneira mais retilínea, passando pela costa do oceano, e, no entanto, retornam de SBSP e SBGR contornando os grandes fluxos e tomando a rota pelo continente.

Após a realização das análises de distâncias e rotas voadas nos trechos entre os aeroportos de São Paulo a Florianópolis, e com um olhar voltado à aplicação prática dos avanços tecnológicos, é possível compreender que a PBN apresenta influências significativas, tanto na economia como nas distâncias de viagens, pois, de uma maneira geral, as trajetórias apresentam redução no número de milhas voadas, entre outros benefícios.

Contudo, as averiguações desta pesquisa apontam que, em determinadas rotas, ainda há variações em algumas trajetórias, que apresentam distâncias majoradas. A busca do por que dessas variações, apesar da implantação da PBN, evidencia situações que requerem um olhar apurado e preciso dos profissionais

¹⁰ Especialistas de Aeronáutica são os profissionais em Controle de Tráfego Aéreo. O profissional controla o tráfego aéreo em uma área sob sua jurisdição, seja civil, ou militar. Na aviação civil, participa de todas as etapas, desde a decolagem das aeronaves, o percurso que elas seguem nas aerovias, até o pouso. O controlador de tráfego aéreo estipula procedimentos de subida e descida, presta serviço de informação de voo e fornece informações meteorológicas. (FORÇA AÉREA BRASILEIRA, 2022).

aeronáuticos, frente às reivindicações das empresas aéreas no tocante à redução de tempo de viagem e à economicidade.

De acordo com as pesquisas e com a entrevista realizada com o DTCEA, é evidente que o fato de existirem diferenças de trajeto se prende à questão de otimização da operacionalidade como um todo, aliada à segurança do transporte aéreo e de passageiros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

5.1 SOBRE OS OBJETIVOS

Este trabalho abordou os conceitos das tecnologias utilizadas na navegação aérea, no tocante à segurança dos voos, em dois momentos distintos, a saber, antes e após a implantação da navegação baseada em performance. Para atender aos objetivos, foram realizadas consultas documentais e bibliográficas a obras pesquisadas na CAPES e no Google Academy, além de pesquisas a Leis e Decretos que norteiam o Comando da Aeronáutica e o DECEA.

No tocante a problemática de pesquisa, o trabalho busca compreender quais são os impactos dos avanços tecnológicos na navegação aérea e no gerenciamento da segurança operacional no que tange ao transporte aéreo brasileiro.

No que diz respeito às tecnologias precedentes, foram apresentados os equipamentos de auxílio aos voos que aos poucos deixaram de ser utilizados, passando a ser substituídos por GPS e sistemas de navegação CNS-ATM. Esses equipamentos apresentam benefícios como aumento de segurança em aproximações e pousos, redução de distâncias voadas, redução de consumo de combustível, e conseqüente redução de emissão de CO₂.

Num segundo momento, foram caracterizadas as tecnologias implementadas por meio da (PBN), Programa SIRIUS de navegação aérea, desenvolvido pelo DECEA. O conceito PBN apresenta a mudança da operação baseada em sensores, definindo requisitos de desempenho de acuracidade, integridade, disponibilidade e continuidade do sistema de navegação. Portanto, pode-se concluir que os impactos foram positivos, tanto no sistema de navegação quanto na segurança operacional.

Compreende-se que as principais mudanças alcançadas com esse novo tipo de navegação são contribuições como navegabilidade, separação de aeronaves no espaço aéreo e gerenciamento do transporte aéreo. Foi possível identificar, ainda, que as tecnologias assistidas por equipamentos são capazes de proporcionar redução do tempo de voo, aproximação para pousos em qualquer situação meteorológica e potencial redução na separação entre rotas paralelas.

Contudo, verificou-se que esse cenário não apresenta eficácia em determinados trajetos no tocante à redução de distâncias voadas. Portanto, para atingir o objetivo específico citado na letra “d” desta dissertação, a partir dessas evidências, foi realizada a análise dos trechos que abarcam as rotas aéreas que obtiveram benefícios na redução das distâncias voadas após a implantação do PBN.

Em relação aos trechos aéreos dos aeroportos GRU e CGH ao aeroporto de Florianópolis, observou-se que os trajetos apresentaram menor desempenho para os deslocamentos. Após as análises, ficou esclarecido que essas diferenças ocorrem em função da segurança, da operacionalidade dos aeroportos e da quantidade de aeronaves que estão na área de aproximação de voos, tanto nacionais quanto internacionais.

A partir das averiguações e da obtenção da clarificação de questionamentos sobre a malha viária nos trechos analisados, conclui-se que ocorreram importantes modernizações e customizações das distâncias por meio da PBN. Contudo, ainda podem ser avaliadas outras formas de contornar diferenças com vista a otimizar as distâncias voadas nos trechos analisados, sendo esta a missão do DECEA na busca do aprimoramento constante.

5.2 AS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

Esta dissertação almeja contribuir com o Comando da Aeronáutica, ao DECEA e as demais entidades ligadas à aviação, no sentido de prover um arcabouço teórico de informações oportunas para consultas e análises quanto à navegação baseada em performance. Os assuntos abordados visam clarificar desde a implantação da PBN, passando pelas tecnologias embarcadas nas aeronaves e pela otimização dos serviços de controle de tráfego aéreo, que utilizam tecnologias computacionais para gerenciar e controlar o espaço aéreo.

Assim sendo, com os resultados esclarecidos, esta pesquisa pretende disponibilizar os apontamentos, as análises e a conclusão como ferramentas de auxílio ao Comando da Aeronáutica, ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo, ao Instituto de Cartografia, órgão subordinado, com o objetivo de contribuir com os trabalhos de planejamento, análise e otimização de distâncias voadas. Tais

ações são resultado do comprometimento com a segurança da aviação, fomentando a confecção de novas cartas para a navegação no espaço aéreo, sendo esta uma das reivindicações das empresas aéreas no sentido de reduzir distâncias que ainda não obtiveram o desempenho desejado.

5.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

Salienta-se que esta pesquisa não esgota o assunto, podendo ser a ponta do “iceberg” de outros trabalhos analíticos sobre o tema.

Este autor propõe novas interações com o Departamento que produz as cartas aéreas, a saber, DECEA e seus órgãos subordinados. O estudo sugere, pois, possibilidades de demais pesquisas ligadas ao assunto abordado, oportunizando que outros pesquisadores elaborem novos trabalhos relacionados ao tema.

5.4 SUGESTÕES

Em função do aumento das distâncias voadas entre os aeroportos analisados, sugere-se uma avaliação criteriosa acerca dos tempos de viagem entre as rotas pesquisadas, que podem sofrer acréscimos significativos, ocasionando atrasos e comprometimento da operacionalidade.

Sugere-se, ainda, realizar análises de distâncias voadas entre aeroportos que demandam maiores distâncias, com o objetivo de verificar a existência de incrementos nos deslocamentos.

Por fim, este autor, como servidor do Comando da Aeronáutica, coloca-se à disposição para colaborar com possíveis novas pesquisas que tenham relação com o tema desta dissertação.

REFERÊNCIAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13537, carga aérea e equipamento de apoio no solo para aeronaves-vocabulário. Rio de Janeiro. 2006.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Análise de Impacto Sobre a Segurança Operacional e Procedimentos Específicos de Segurança Operacional para Obras e Serviços de Manutenção. 2018.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil, 2019. Disponível em: <https://www.institutoaviacao.org/noticia/anac-divulga-dados-do-mercado-aa-reo-em-2019>. Acesso em: ago. de 2021.

AVIATION growth 1990 to 2000 to 2012 to 2020 to 2030. Disponível em: <www.ebianch.com>. Acesso em: 12 nov. 2021.

BARROS, J.F.A. PBN no Brasil. S.d. Disponível em: <www.aeromagazine.uol.com.br> Acesso em: 11 mar. 2022.

BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. Fundamentos de metodologia científica. 3 ed. reimpr. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2014. Acesso em jun. 2022. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/419/epub>. Acesso em jun. 2022.

BAXTER, Daniel. FAA To Be Audited On Its Performance Based Navigation (PBN) Procedures, 2012. Disponível em: http://avstop.com/may_2012/faa_to_be_audited_on_its_performance_based_navigation_pbn_procedures.htm

BIANCHINI, Denis. Navegação Aérea por Instrumentos. São Paulo, 2014. 371 p.

BOTELHO, Louise Lira Roedel; CUNHA, Cristiano Castro de Almeida; MACEDO, Marcelo. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. Gestão e Sociedade. Belo Horizonte, v.5, n. 11, p. 133 · maio-ago. 2011 · ISSN 1980-5756. Disponível em: <<http://www.gestoesociedade.org/gestoesociedade/article/view/1220/906>>. Acesso em: 13 nov. 2022.

BRAGA, André Luiz; Guia Prático Para Entender PBN-RNAV Navegação Baseada em Performance, 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB) 2014. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/noticias/2014/rab-e-ponto-de-entrada-do-registro-internacional>. Acesso em: 03 out. 2021.

BRASIL, Comando da Aeronáutica. Departamento da Aviação Civil. PCA 351 – 3 Plano de implementação ATM Nacional. abr. 2012.

BRASIL Ministério da Defesa - Comando da Aeronáutica, Departamentos do Controle do Espaço Aéreo, Implementação operacional do Conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN) no Espaço Aéreo Brasileiro, 2018, acesso em 18 ago. 2022.

CASARIN, S. T. PORTO. A. R.; GABATZ, R.I.B; BONOW, C.A.; RIBEIRO J.P.; MOTA, M.S. Tipos de revisão de literatura: considerações das editoras do Journal of Nursing and Health / Types of literature review. 2002.

CORDEIRO, Alexander Magno et al. Revisão sistemática: uma revisão narrativa. Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões, [s.l.], v. 34, n. 6, p. 428431, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s010069912007000600012>. Acesso em: jun. 2022.

CHUJO, Amália Massumi. Tecnologias de Navegação Aérea por GNSS e DGNS para Operação CNS/ATM: Aplicações para o Brasil. 2017. 168f. Tese de mestrado - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CHUJO, Amália Massumi, et al. Potenciais Aplicações Estratégicas do sistema CNS/ATM, ITA – Instituto Tecnológico de aeronáutica- Divisão de Engenharia Eletrônica – Departamento de Telecomunicações, São José dos Campos, SP, 2017.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. O Sistema de Pouso por Instrumentos (*ILS-Instrument Landing System*, 2011. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=o-sistema-de-pouso-por-instrumento-ils-instrument-landing-system. Acesso em ago. 2021.

DECEA. Concepção Operacional ATM Nacional: DCA 351-2. 1. Ed. Rio de Janeiro: DECEA, 2011.

DECEA. PCA 351-3 Plano de Implementação ATM Nacional (Programa SIRIUS). 2018.

DECEA. Relatório do SISCEAB, performance ATM, 2019, acesso em 21 nov., 2021.

DECEA; Departamento de Controle do Espaço Aéreo; ICA 100-37, Serviço de Tráfego Aéreo, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/api/storage/uploads/files/a4480c0a-3657-4ba0-87721154264d0766.pdf>.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo; Ministério da Defesa; Comando da Aeronáutica. DCA 351-2, Concepção Operacional ATM Nacional, 2021. Portaria GABAER Nº 55/GC3, de 10 de março de 2021.

DECEA; Controle do Espaço Aéreo; PCA 351-3 Plano de Implementação ATM Nacional, 2021.

DECEA. PCA 351-3 Plano de Implementação ATM Nacional. Fev. 2022. Acesso em: jun. 2022.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Demanda de Capacidade de pistas, Guarulhos, Congonhas – Aeroportos e Transporte Aéreo – Controle de Tráfego Aéreo-Aula 2-CTA-estudcapacidade-cappistas ver[modo compatibilidade]-Aulas 2 pdf. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginsfile.php/4307403/mod_resource/content/1/Aulas2.pdf. Acesso em: ago. 2022.

Federal Aviation Administration (2002) Aviation Capacity Enhancement (ACE) Plan, Chapter 5 Operational Procedures, U.S. Department of Transportation, Office of System Capacity.

FERREIRA, João Palma; Sistema de Controlo de Tráfego Aéreo já falhou quatro vezes em 2017. Disponível em: <<http://expresso.sapo.pt/economia/2017-10-17-Sistema-de-controlo-detrafego-aereo-ja-falhou-quatro-vezes-em-2017>>. acesso em 29 setembro 2021.

Força Aérea Brasileira. Escola de Especialistas de Aeronáutica; Diretoria de Ensino – Controle de Tráfego Aéreo. Disponível em: www2.fab.mil.br/ear/index.php/2015-06-02-14-14-44?layout=edit&id=160, 2022. Acesso em: out. 2022.

GAVAZZI, Angela Bitencourt, Programa SIRIUS e o Uso Racional do Espaço Aéreo Brasileiro; UNISUL, Universidade do Sul de Santa Catarina, Curso de Graduação em Ciências Aeronáuticas. 2018.

GILL, Antônio Carlos. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. São Paulo: Atlas S.A. 2008. p.109.

ICAO Doc. 9613, *Performance-base Navigation (PBN) Manual*, 2008.

JUNIOR, Manoel Araujo da Costa; A Navegação Baseada em Performance; A Influência do PBN-Sul na Navegação aérea e no meio ambiente do Brasil. Rio de Janeiro, 2019.

MANZINI, Eduardo José. Entrevista semiestruturada: análise de objetivos e de roteiros. In: Seminário Internacional Sobre Pesquisa e Estudos Qualitativos, 2., 2004, Bauru. Anais, Bauru: Usc, 2004. P.1.

Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica, DCA 351-2, Concepção Operacional ATM Nacional, 2012. p. 45.

Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica, DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Segurança Operacional. 2018, DCA 351-2 Concepção Operacional ATM Nacional.

Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica; ROCA 20-7, Regulamento do Departamento de Controle do Espaço Aéreo, Portaria Nº 2.030/GC3, de 22 de Novembro de 2019.

Ministério da Defesa. Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA – Força Aérea Brasileira. Acesso em: out. 2022.

Ministério da Defesa. Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA – Força Aérea Brasileira, Cartografia Aeronáutica Acesso em: out. 2022.

OACI. Doc 9613, Organização da aviação Civil Internacional, Manual 2008.

OACI. Organização da Aviação Civil Internacional. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2016/oaci-ratifica-o-brasil-entre-os-melhores-avaliados-em-seguranca-operacional>. Acesso em: ago. 2021.

PAGLIARINI, A.; HENKES, J. A.; GARCIA, C. M. (2021). O Impacto da implementação da navegação baseada em performance para as rotas mais voadas do sul do Brasil. *Revista Brasileira De Aviação Civil & Amp. Ciências Aeronáuticas*, 1(2), 63–82. Recuperado de <https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/25>.

PARKER, G.S.. AIAA's 1st Technical Conference and Workshop on Unmanned Aerospace Vehicles, Systems, Technologies and Operations, and the 1st AIAA UAV Conference and Workshop, 2002. Disponível em: <http://www.aiaa.org/documents/industry/presentations/uav02parker.ppt#5>. Acesso em: 15 ago. 2022.

PERISSÉ, A.R.S; GOMES, M da M; NOGUEIRA S.A. Revisões sistemáticas (inclusive metanálises) e diretrizes clínicas. In: Gomes MM (Org.). *Medicina baseada em evidências: princípios e práticas*. Rio de Janeiro (RJ): Reichmann & Affonso; 2001. p. 131.

PORTILHO, Frederico de Araújo; BUKZEM, Salmen Chaquip. Os precedentes históricos da navegação aérea baseada em instrumentos: necessidade, surgimento e evolução. 2015. Disponível em: <file:///C:/Users/Pc%20-%/Downloads/21165-91976-2-PB.pdf>. Acesso em 08 out. 2021.

PRODANOV, Cleber Cristiano. *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SCUSSEL, Marcelo. *Navegação Baseada em Performance: vantagens frente à navegação aérea convencional*. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Brasília, 04 de julho de 2018.

SEVERINO, Antônio Joaquim; *Metodologia do Trabalho Científico*, 23ª ed. Editora Cortez 2013; São Paulo. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5562413/mod_resource/content/1/Metodologia-Do-Trabalho-Cientifico-23%C2%AA-Edicao-Severino-EBOOK-Escolhido.pdf

SIMÕES, Victor Junqueira Toledo Delosso. Novos Sistemas de Navegação Aérea e Seus Benefícios: CNS/ATM. Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), 2020.

SOUZA, Marco Aurélio de Azevedo. A Mensuração de Desempenho do Sistema de Controle do espaço Aéreo - SISCEAB através do Balanced Scorecard, 2008. Disponível em :<<http://repositorio.iscteul.pt/bistream/10071/1504/1/Tese%20Marrco%20Aurelio%2025%20Jan%2009.pdf>>. Acesso em 27 set 21.

APÊNDICE A: Entrevista Semiestruturada com o Especialista CTA do DTCEA-FL

A entrevista com o profissional de Controle de Tráfego Aéreo do DTCEA de Florianópolis foi conduzida na forma presencial, no Destacamento e Controle do Espaço Aéreo de Florianópolis, Unidade Militar sediada em Organização do Comando da Aeronáutica. Ressalta-se que esta pesquisa foi direcionada única e exclusivamente para fins acadêmicos e visou esclarecer às seguintes perguntas:

- 1 – Em relação ao PBN, as operações e rotas aéreas estão mais eficientes e com mais segurança?
- 2 – Com a implementação da navegação baseada em performance e a atualização de novas cartas aéreas, é possível que as aeronaves se desloquem em linha reta nas aerovias?
- 3 – Quais são as restrições para pousos e decolagens nos aeroportos?
- 4 – Quais são as prioridades dedicadas a cada aeronave que está em APP e decolagem, e quem pode conceder essa prerrogativa?
- 5 – Qual é o órgão responsável pela confecção e atualização das cartas aéreas?
- 6 – Por que determinados trechos da malha aérea possuem distâncias maiores em seus trajetos, mesmo com a implementação da PBN?
- 7 – Qual é a razão de haver maior distância voada nos trechos de Guarulhos e Congonhas ao aeroporto de Florianópolis?
- 8 – Essas distâncias podem ser otimizadas? Há estudos, em curto prazo, para reduzir as distâncias voadas para a economia das empresas?
- 9 – Os maiores gargalos estão nos aeroportos de São Paulo e Guarulhos, por que acontecem tais diferenças e como poderiam ser otimizadas?

10 – Qual o número de pistas existentes nos aeroportos de São Paulo e Guarulhos, e quais as dimensões de cada uma?

11 – Quais são os fatores de maior influência nos aeroportos para prover as chegadas e partidas das aeronaves?

12 – Quais seriam os maiores problemas nos aeroportos de São Paulo?

13 – Qual é a dinâmica de deslocamento de voos nas rotas FL a SP/GR, bem como do trajeto de SP/GR a Florianópolis?

14 – As mudanças de trajetórias dos voos que partem de SP e GR são consequência das necessidades de prover a segurança ou há outras condições que interferem nas operações aéreas?

15 – A forma de deslocamento das aeronaves saindo de sua radial de aproximação e a sua trajetória pode ser demonstrada?

16 – As distâncias voadas a mais, majoradas com a implementação da PBN, podem causar atrasos nas viagens ou trazer outras consequências?