

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**NAVEGAÇÃO AÉREA BASEADA EM PERFORMANCE (PBN):
VANTAGENS FRENTE À NAVEGAÇÃO AÉREA CONVENCIONAL**

Marcelo Scussel
Dissertação de Mestrado

Brasília-DF: Julho/2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**NAVEGAÇÃO AÉREA BASEADA EM PERFORMANCE (PBN):
VANTAGENS FRENTE À NAVEGAÇÃO AÉREA CONVENCIONAL**

Marcelo Scussel

Orientador: Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Dissertação de Mestrado

Brasília-DF: Julho/2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

**NAVEGAÇÃO AÉREA BASEADA EM PERFORMANCE (PBN): VANTAGENS
FRENTE À NAVEGAÇÃO AÉREA CONVENCIONAL**

Marcelo Scussel

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre Geografia, área de concentração Geoprocessamento, opção Acadêmica.

Aprovado por:

Prof. Dr. Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, Universidade de Brasília (UNB)
(Orientador)

Prof^a. Dr^a. Potira Meirelles Hermuche, Universidade de Brasília (UNB)
(Examinador Interno)

Pro. Dr. Marcus Fábio Ribeiro Farias, Centro Universitário de Brasília (UniCEUB)
(Examinador Externo)

Brasília-DF, 04 de Julho de 2018

SCUSSEL, MARCELO

Navegação Baseada em Performance: vantagens frente à navegação aérea convencional, 63 p., 297 mm, (UnB-CDS, Mestre, Geoprocessamento, 2018).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1. Aviação | 2. Navegação Baseada em Performance |
| 3. Sistema Global de Navegação por Satélite | 4. Sistema de Acréscimo de Sinal GNSS |

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Marcelo Scussel

Dedicatória

Dedico este trabalho, como uma singela homenagem e cuja gratidão vai muitíssimo além, à minha sempre Camilla: companheira, amiga, cúmplice, mulher. É difícil expressar em palavras o quanto você representa para mim nesta jornada terrena. Te amo.

Ao pequeno Enrico, fruto de nosso Amor, que mudou a minha vida para sempre na difícil missão de ser exemplo para a construção de um mundo bem melhor.

Agradecimentos

Agradeço ao Criador, ao Pai, a esta força maior que, quando prestamos atenção, nos dá todas as repostas através do sentir.

Agradeço às grandes mentes: Jesus Cristo, Buda, São Francisco de Assis, Dr. Celso Charuri, entre outras, que mostraram o caminho.

Ao meu pai Maucir Scussel (*in memorium*) pela oportunidade de estar aqui e por ter me ensinado que cada um expressa seu amor pelo que entende como verdade. À minha amada mãe Maristela também pela oportunidade de estar aqui, por sua fortaleza diante de tantas dificuldades e, principalmente, por não ter deixado meu sonho morrer.

Ao meu irmão Maurício, exemplo de homem de boa vontade, e que me faz lembrar com ternura da minha infância. À sua Esposa Sonia e ao doce Nolan.

RESUMO

SCUSSEL, Marcelo. Navegação Aérea Baseada em Performance: vantagens frente à navegação aérea convencional. 2018. 63p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, Brasília.

A expansão tecnológica nas últimas décadas vem promovendo transformações significativas na sociedade e também na aviação civil, pois é um dos setores que mais se desenvolve no cenário mundial. Para permitir a continuidade do crescimento e os benefícios dele decorrentes, a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) desenvolveu o conceito CNS/ATM, ainda no início dos anos 80, de forma a estruturar as bases da aviação do futuro. Dentro do conceito, a Navegação Baseada em Performance (PBN) é ferramenta fundamental e tida como prioridade da Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO). A PBN utiliza avanços tecnológicos, voos mais curtos, rápidos, seguros, econômicos, menos poluentes e proporciona a maximização do espaço aéreo. Nesse sentido, este estudo tem como objetivos apresentar o processo PBN no Brasil demonstrando a relação com os sistemas de navegação global por satélite e seus sistemas de acréscimo de sinal; as especificações de navegação que são usadas no espaço aéreo nacional; e comparar rotas PBN com rotas convencionais em relação a distâncias, ao consumo de combustível e emissão de dióxido de carbono (CO₂) utilizando para isso a metodologia da ICAO de Cálculo de Emissão de Dióxido de Carbono e tendo base a análise multitemporal do tráfego aéreo nacional nos últimos doze anos. Os resultados apontam vantagens expressivas da PBN frente à navegação aérea convencional nos aspectos estudados. Na rota Brasília – Manaus, ao longo de um ano, é possível economizar 438 mil litros de combustível com 821 toneladas de CO₂ podendo deixar de serem emitidas à atmosfera. Em um panorama temporal de doze anos, economizar-se-ia aproximadamente 50 milhões de litros de combustível e se evitaria a emissão de 107 bilhões de toneladas de CO₂ na rota São Paulo/Congonhas – Rio de Janeiro/Santos Dumont, voando-se exclusivamente em rotas PBN com trajetória direta. Embora as rotas PBN impõem o cumprimento de vários requisitos para sua implementação, elas permitem o incremento de tráfego, a acessibilidade ao espaço aéreo, diminuição de distâncias percorridas, economia de combustível e redução da emissão de dióxido de carbono na atmosfera.

Palavras-chave: Aviação. GNSS. Navegação Baseada em Performance. SIG.

ABSTRACT

SCUSSEL, Marcelo. Performance-Based Performance-Based Air Navigation: advantages over conventional air navigation. 2018. 63p. Dissertation (Master in Geography) - Postgraduate Program in Geography, University of Brasília, Brasília

The technological expansion in the last decades has been promoting significant transformations in society and also in civil aviation, since it is one of the sectors that develops most in the world scenario. To enable continuity of growth and the resulting benefits, the International Civil Aviation Organization (ICAO) developed the CNS / ATM concept in the early 1980s in order to structure the aviation bases of the future. Within the concept, Performance Based Navigation (PBN) is a fundamental tool and considered a priority of the International Civil Aviation Organization (ICAO). PBN uses technological advancements, shorter, faster, safer, cheaper, less polluting flights and maximizes airspace. In this sense, this study aims to present the PBN process in Brazil demonstrating the relationship with global satellite navigation systems and their augmentations systems; navigation specifications that are used in national airspace; and compare PBN routes with conventional routes in terms of distances, fuel consumption and carbon dioxide (CO₂) emissions using the ICAO Carbon Dioxide Emission Calculation methodology and based on multi-temporal traffic analysis over the last twelve years. The results point to the PBN advantages over conventional air navigation in the studied aspects. On the Brasilia - Manaus route, over a year, it is possible to save 438 thousand liters of fuel with 821 tons of CO₂, whose emission can be avoided into the atmosphere. In a twelve-year timeframe, approximately 50 million liters of fuel would be saved and the emission of 107 billion tons of CO₂ would be avoided on the São Paulo / Congonhas - Rio de Janeiro / Santos Dumont route, flying exclusively on PBN routes with direct trajectory. Although PBN routes require compliance with so many requirements for their implementation, they allow for increased traffic, accessibility to airspace, reduction of distances traveled, fuel economy and reduction of the emission of carbon dioxide in the atmosphere.

Keywords: Aviation. GNSS. Performance Based Navigation. GIS.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELA

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	O USO DO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE (GNSS) E SEUS SISTEMAS DE AUMENTAÇÃO (ACRÉSCIMO) DE SINAL NA AVIAÇÃO.....	17
2.2	SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE (GNSS).....	18
2.3	SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS).....	19
2.4	SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE (GLONASS).....	20
2.5	GALILEO.....	21
2.6	SISTEMAS DE ACRÉSCIMO DE SINAIS DE SATÉLITES.....	22
2.7	ABAS.....	23
2.8	SBAS.....	24
2.9	GBAS.....	26
2.10	GRAS.....	27
3	NAVEGAÇÃO BASEADA EM PERFORMANCE (PBN).....	28
4	ANÁLISE MULTITEMPORAL DO TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL.....	34
5	COMPARAÇÃO ENTRE ROTAS DE NAVEGAÇÃO ÁEREA BASEADA EM PERFORMANCE (PBN) E ROTAS CONVENCIONAIS ATRAVÉS DE DADOS MULTITEMPORAIS	42
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
	APÊNDICE	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Arquitetura SBAS.....	25
Figura 2	Arquitetura GBAS.....	27
Figura 3	Diferença entre Navegação Convencional e Navegação de Área (RNAV).30	
Figura 4	RNAV e RNP.....	30
Figura 5	Especificações RNAV/RNP.....	31
Figura 6	Especificações RNAV/RNP e fases de voo no espaço aéreo brasileiro.....	31
Figura 7	Estruturação da Navegação Baseada em Performance.....	32
Figura 8	Crescimento do movimento de passageiros nos aeroportos.....	35
Figura 9	Movimento de passageiros de 2006 a 2017 nos aeroportos.....	36
Figura 10	Movimento de Aeronaves 2006 a 2017 nos aeroportos.....	36
Figura 11	Movimento de Passageiros em Guarulhos 2006 a 2017.....	37
Figura 12	Movimento de Aeronaves em Guarulhos 2006 a 2017.....	37
Figura 13	Posição e movimento de passageiros no aeroporto de Congonhas (2006 a 2017).....	38
Figura 14	Posição e movimento de aeronaves no aeroporto de Congonhas (2006 a 2017).....	38
Figura 15	Crescimento de movimento de passageiros e aeronaves no aeroporto de Brasília de 2006 a 2017.....	39
Figura 16	Movimento de aeronaves no aeroporto de Brasília entre 2006 a 2017.....	39
Figura 17	Porcentagem de crescimento médio dos 15 maiores aeroportos brasileiros de 2006 a 2017.....	40
Figura 18	Movimento de Aeronaves no Aeroporto de Campinas 2006 a 2017.....	41
Figura 19	Rota Convencional e PBN entre Campinas/SP e João Pessoa/PB.....	44
Figura 20	Rota Convencional e PBN entre Brasília/DF e Manaus/AM.....	45
Figura 21	Número de voos realizados entre Congonhas (SBSP) e Santos Dumont (SBRJ).....	46
Figura 22	Rota Convencional e PBN entre Congonhas e o Santos Dumont.....	47
Figura 23	Rota Convencional e PBN ideal entre Vitória e Confins.....	48
Figura 24	Voos realizados por empresas aéreas de transporte público regular entre Vitória e Confins.....	49

LISTA DE TABELA

Tabela 1	Porcentagem crescimento do movimento de passageiros nos aeroportos de 2006 a 2017.....	35
Tabela 2	Consumo de Combustível e Emissão de CO2 entre Campinas e João Pessoa.....	44
Tabela 3	Consumo de Combustível e Emissão de CO2 entre Brasília e Manaus.....	45
Tabela 4	Consumo de combustível e emissão de CO2 entre Congonhas e Santos Dumont.....	47
Tabela 5	Consumo de combustível e emissão de CO2 entre Vitória e Confins.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAS	Sistema de Acréscimo Baseado na Aeronave/Aircraft Based Augmentation System
AAIM	Monitoramento de Integridade Autônomo da Aeronave/Aircraft Autonomous Integrity Monitoring
AR	Autorização Requerida/Authorization Required
ARNS	Serviço de Rádio Navegação Aeronáutica/ Aeronautical Radio Navigation Service
ADF	Automatic Direction Finder/Localizador Automático de Direção
AFM	Manual de Voo da Aeronave/Airplane Flight Manual
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APV	Procedimento de Aproximação com Guia Vertical/Approach Procedure with Vertical Guidance
ATM	Air Traffic Management/Gerenciamento de Tráfego Aéreo
ATS	Air Traffic Services/Serviços de Tráfego Aéreo
CNS	Comunicação, Navegação e Vigilância/Communication, Navigation and Surveillance
CO ₂	Dióxido de Carbono/Carbon Dioxide
CST	Certificado Suplementar de Tipo/Supplemental Type Certificate
CPDLC	Comunicações por Ligação de Dados Controlador-Piloto/Controller Pilot Data Link Communications
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DGNSS	GNSS Diferencial/Diferencial GNSS
DME	Equipamento Medidor de Distância/Distance Measuring Equipment
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
ERC	Enroute Charts/Cartas de Rota
FAA	Federal Aviation Administration
FD	Detecção de Falha/Fault Detection
FDE	Detecção de Falha e Exclusão/Fault Detection and Exclusion
FIR	Região de Informação de Voo/Flight Information Region
FMS	Flight Management System/Sistema Gerenciador de Voo

FTE	Erro Técnico de Voo/Flight Technical Error
GAGAN	Sistema de Navegação Geo Aumentado/Geo-Augmented Navigation System
GBAS	Sistema de Acréscimo Baseado no Solo/Ground Based Augmentation System
GLONASS	Sistema de Navegação por Satélite de Órbita Global
GLS	Sistema de Pouso GBAS/GBAS Landing System
GNSS	Sistema de Navegação Global por Satélite/Global Navigation Satellite System
GPS	Sistema de Posicionamento Global/Global Position System
GRAS	Sistema Regional de Acréscimo de Sinal/ <i>Ground-Based Regional Augmentation System</i>
HAL	Alerta de Limite Horizontal/ Horizontal Alert Limit
HP	Alta Precisão/High Precision
IAC	Carta de Aproximação por Instrumento/Instrument Approach Chart
IAP	Procedimento de Aproximação por Instrumento/Instrument Approach Procedure
ICAO	Organização de Aviação Civil Internacional/Internacional Aviation Association Organization
IFR	Regras de Voo por Instrumentos/Instrument Flight Rules
ILS	Sistema de Pouso por Instrumentos/Instrument Landing System
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
LAAS	Sistema de Acréscimo de Área Local/Local Area Augmentation System
LNAV	Navegação Lateral/Lateral Navigation
LP	Performance Localizador/Performance Localizer
KASAS	Sistema de Acréscimo de Satélite Coreano/Korea Augmentation Satellite System
MSAS	Sistema de Acréscimo Multi Funcional de Satélites/Multi-functional Sattelite Augmentation System
NPA	Procedimento de Não Precisão/Non Precision Approach
Nm	Milha Náutica/Nautical Mile
NSE	Erro do Sistema de Navegação/Naviation System Erro
PA	Aproximação de Precisão/Precision Approach

PBN	Navegação Baseada em Performance/ Performance Based Navigation
PIB	Produto Interno Bruto
POH	Manual de Operação do Piloto/Pilot Operating Handbook
PPS	Serviço de Posicionamento de Precisão/ Precision Position Service
PST	Posição, Espaço e Tempo/ Position, Space and Time
RAIM	Receptor Autônomo de Monitoramento de Integridade/Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RNP APCH	Aproximação RNP/RNP Approach
RNP	Performance de Navegação Requerido/Required Navigation Performance
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RPK	Passageiros-Quilômetros Pagos Transportados
SBBR	Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek/Brasília-DF
SBCF	Aeroporto Internacional Tancredo Neves/Confins-MG
SBEG	Aeroporto Internacional Eduardo Gomes/Manaus-AM
SBKP	Aeroporto Internacional de Viracopos/Campinas-SP
SBJP	Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto/João Pessoa-PB
SBRJ	Aeroporto Santos Dumont/Rio de Janeiro – RJ
SBSP	Aeroporto de Congonhas/São Paulo-SP
SBVT	Aeroporto Eurico de Aguiar Salles/Vitória - ES
SCDM	Correção Diferencial e Monitoramento/Differential Correction and Monitoring
SID	Saída Padrão por Instrumento/Standart Instrument Departure
SP	Precisão Padrão/ Standart Precision
SPS	Serviço de Posicionamento Padrão/ Standart Position Service
STAR	Chegada Padrão por Instrumento/Standart Instrument Arrival/
TLS	Nível Desejado de Segurança/Target Level of Safety
TMA	Área Terminal/Terminal Area
TSE	Erro Total do Sistema/Total System Error
TTA	Tempo de Alerta/Time to Alert
VAL	Alerta de Limite Vertical/Vertical Alert Limit
VOR	Rádio Omnidirecional em Frequência Muito Alta/Very High Frequency Omnidirectional Range
VHF	Frequência Muito Alta/Very High Frequency

VNAV	Navegação Vertical/Vertical Navigation
WAAS	Sistema de Aumentação de Área/ Wide Area Augmentation System

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos, especialmente pós-segunda guerra mundial, têm alterado as relações econômicas, políticas e sociais. Trata-se de uma revolução global, percebida nos aspectos cotidianos, mas ainda não finita. O capital, concentrado essencialmente nas cidades na pós-revolução industrial, alcança o campo e a circulação deste capital passa a necessitar de infraestruturas condizentes ao modelo capitalista. Com isso, os modais de transporte crescem, evoluem, modernizam-se e permitem alterações na percepção das relações entre tempo e espaço (SANTOS, 1988).

A aviação civil é um dos setores que mais se desenvolve nas últimas décadas no cenário mundial e o aumento do tráfego aéreo é uma constante desde o fim da segunda grande guerra. Após os anos 1970, o crescimento, em termos de passageiros transportados, tem duplicado a cada ciclo de 15 anos, mesmo com as diversas crises econômicas vivenciadas no mundo (ICAO, 2017).

Este modal desempenha papel fundamental na macroeconomia mundial permitindo ciclos de oportunidades e de investimento para várias comunidades ao redor do globo. O desenvolvimento de infraestrutura gera empregos e com as operações de companhias aéreas em aeroportos, criam-se novas redes de fornecedores, fluxo de turistas, acesso de produtos locais a mercados distantes e permitem um crescimento regional amplo e sustentável (ICAO, 2013).

A introdução de tecnologias como os motores a jato nos anos 50, o sistema gerenciador de voo (FMS)¹, painéis com mostradores digitais, equipamentos de aprimoramento da navegação aérea, satélites, o automatismo na pilotagem e a confiabilidade dos sistemas das aeronaves são algumas ferramentas que permitiram este crescimento e a consolidação da aviação no pós-guerra (RIBEIRO, 2008).

No início da década de 80, o conselho da Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO), ao constatar este forte crescimento da aviação, reconheceu que a forma existente de prover os Serviços de Tráfego Aéreo (ATS) e a estrutura do sistema de navegação aérea acabariam por limitá-lo. Neste sentido seria necessária uma completa análise e reformulação destes procedimentos fazendo com que fosse concebido o conceito de Sistema de

¹ FMS: É um sistema integrado composto por sensores de voo, receptores, computadores, banco de dados de navegação e de performance da aeronave. Por meio dele são realizados cálculos que otimizam o voo e fornecem parâmetros de navegação lateral e vertical para o sistema de controle de voo. Indicam a autonomia da aeronave, planejamento de rota, etc (MILLER, 2009).

Comunicação, Navegação, Vigilância/ Gerenciamento de Tráfego Aéreo (CNS/ATM) (DECEA, 2011). O CNS/ATM consiste em tecnologias digitais e sistemas de satélites associados a vários níveis de automação e tem como objetivo aumentar a capacidade do espaço aéreo, diminuir os custos operacionais, manter ou melhorar os níveis de segurança praticados atualmente e proporcionar uma gestão de tráfego aéreo mundialmente eficaz e uniforme (GALOTTI, 1997).

Os sistemas de monitoramento por satélites servem a uma enorme quantidade de usuários em terra, nos mares e no ar. Na aviação, o Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) possibilita a determinação da posição no tempo e no espaço por meio de satélites, receptores instalados nas aeronaves e sistemas de aumento e monitoramento de integridade de sinais (ICAO, 2012). O GNSS também dá o suporte para um novo conceito de navegação aérea que é a Navegação Baseada em Performance (PBN) (SIQUEIRA, 2005).

A PBN proporciona melhor aproveitamento do espaço aéreo e possibilita que aeronaves percorram rotas mais curtas, com operações mais rápidas, econômicas, e menos poluentes por meio de rotas diretas. A PBN se utiliza dos avanços tecnológicos aplicados nos modernos sistemas de navegação aérea embarcados, nos sistemas de controles de voo e no automatismo das aeronaves (ICAO, 2013a).

O desafio para o Brasil e, também, para vários países está em permitir o crescimento da aviação sem comprometer os níveis de segurança praticados. A navegação baseada em performance é uma ferramenta importante e prioritária, para viabilizá-lo (ICAO, 2013).

Nesse sentido, este estudo tem como objetivos apresentar o processo PBN no Brasil demonstrando a relação com os sistemas de navegação global por satélite e seus sistemas de acréscimo de sinal; as especificações de navegação que são usadas no espaço aéreo nacional; comparar rotas PBN com rotas convencionais em relação a distâncias, ao consumo de combustível e emissão de dióxido de carbono (CO₂) utilizando para isso a metodologia da ICAO de Cálculo de Emissão de Dióxido de Carbono; e por fim, a análise multitemporal do tráfego aéreo nacional nos últimos doze anos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O USO DO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE (GNSS) E SEUS SISTEMAS DE AUMENTAÇÃO (ACRÉSCIMO) DE SINAL NA AVIAÇÃO

A revolução tecnológica tem sido vivenciada ao longo da história criando novas relações tempo-espaço e é fundamentada no conhecimento científico e na informação. Com isso, modificações nos setores produtivos, na interação entre as pessoas e nos processos ensino-aprendizagem são experienciadas (LEITE; BARBATO, 2011). Neste sentido, a aviação e o crescimento da navegação aérea são alguns dos expoentes de todo este processo.

Segundo os últimos dados da Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO, 2017), descritos no Relatório de Navegação Aérea, em 2016 foram transportados 3,7 bilhões de passageiros com 35 milhões de decolagens no mundo. Houve um crescimento de 6,3% no número de passageiros transportados e aumento de 6,9% na quantidade passageiros quilômetros transportados (RPK)² em relação ao ano de 2015. Este, por sua vez, apresentou crescimento de 6,4 e 6,7% quanto ao número de passageiros transportados e na quantidade de passageiros quilômetros transportados quando comparado a 2014 (ICAO, 2016). Para o ano de 2030, está previsto o transporte de mais de sete bilhões de passageiros ao redor do mundo em voos regulares (ICAO, 2013). Com isso, a rede de serviços e auxílios que compõem infraestrutura aeronáutica precisa fornecer condições para este crescimento.

De acordo com a ANAC (2017), a frota de aeronaves comerciais de empresas aéreas brasileiras em 2016 era de 498 aviões. Esta frota transportou para este ano 109,6 milhões de passageiros pagos, sendo que 88,7 milhões em voos domésticos e 20,9 milhões em voos internacionais. Desse modo, apesar de um cenário de desaceleração econômica vivenciada nos últimos anos, ainda de acordo com o relatório da ANAC (2017), a demanda doméstica do transporte aéreo de passageiros praticamente dobrou nos últimos dez anos e apresentou um crescimento médio superior a 7% por ano. Isto representa cinco vezes mais do que o Produto Interno Bruto (PIB).

² RPK: Representa a Quantidade de Passageiros Transportados por Quilômetro (Km). Por exemplo, em um voo de Brasília para Porto Alegre, com 150 passageiros a bordo e cuja distância é 1603 Km, tem-se um RPK de 0,0935.

Uma das formas para manter a vitalidade da aviação civil é garantir que se disponha, em âmbito mundial e nacional, de um sistema de navegação aérea operacionalmente seguro, eficiente, sustentável e econômico (DECEA, 2011).

A ICAO, no início dos anos 80, previu o crescimento da aviação e desenvolveu o conceito do sistema CNS/ATM (Comunicação, Navegação, Vigilância/ Gerenciamento de Tráfego Aéreo) de forma a estruturar as bases para a aviação. O sistema CNS/ATM utiliza ferramentas tecnológicas como a comunicação digital, o aprimoramento da vigilância radar, os satélites e a gestão estratégica do espaço aéreo bem como, integra processos e recursos para o desenvolvimento progressivo e continuado da navegação aérea. Este sistema, de aplicação global, também representa a modernização do controle do espaço aéreo para atender ao fluxo crescente de tráfego projetado para o futuro (BASILIO *et al*, 2011).

Segundo a ICAO (2005), o CNS/ATM busca melhorias para cada um dos elementos do tráfego aéreo, sendo elas:

- na comunicação - visa ao incremento na cobertura, acessibilidade, capacidade, integridade, desempenho e segurança dos sistemas de comunicação aeronáuticos;
- na navegação - aumento na cobertura, redução dos atrasos e na possibilidade de operação em quaisquer condições meteorológicas e tipos de espaço aéreo, enquanto mantém ou aumenta os níveis de integridade, acurácia e desempenho;
- na vigilância - expandir a cobertura efetiva sobre oceanos e áreas remotas, e incrementar os níveis de consciência situacional dos pilotos.

2.2 SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE (GNSS)

O sistema global de navegação por satélite (GNSS) é um nome genérico dado a um grupo de constelações de satélites que transmitem continuamente suas posições e seus horários por sinais de rádio e permite aos receptores GNSS determinar suas posições na terra. O GNSS tem se popularizado e se mostrado extremamente importante em vários campos da ciência como pesquisa, agricultura, defesa, segurança, comunicações e na aviação (SWAMY, 2017).

Os sistemas GNSS aceitos pela ICAO para uso na aviação civil são o Sistema de Posicionamento Global (GPS - americano) e o Sistema de Navegação Global por Satélite (GLONASS - russo). Nos próximos cinco anos novos satélites serão lançados ao espaço

modernizando o sistema GPS, a revitalização GLONASS e, além disso, avanços no Chinês BeiDou e a operação plena do Europeu Galileo em 2020. Este conjunto de novos satélites além de aumentar seu número possibilitará um aumento na precisão e monitoramento das aeronaves (CHOY, *et al.*; 2016).

Pelo sistema de navegação aérea convencional, a orientação dos pilotos no espaço ocorre pela recepção de ondas de rádio emitidas por equipamentos de solo e, normalmente, é necessário que as aeronaves sobrevoem estes pontos de apoio para cumprir uma rota de voo, o que acarreta maiores distâncias de voo. Por sua vez, a Navegação Baseada em Performance (PBN) possibilita a navegação aérea de ponto (origem) à ponto (destino), mesmo passando por áreas de difícil acesso (como áreas montanhosas), sem ter a necessidade de voar pontos específicos ao longo da rota devido ao uso do GNSS (ENGEL; WALTER; ELDREDGE, 2017).

A comunidade aeronáutica tem feito grandes esforços para a racionalização e padronização dos parâmetros de navegação aérea. Para uso na aviação, os GNSS ainda necessitam possuir sistemas que aumentem os sinais de satélites e possibilitem o cumprimento de requisitos operacionais de navegação lateral e vertical, expressos por níveis de precisão, integridade, disponibilidade e continuidade. Estes requisitos de geração de avisos são definidos como Performance de Navegação Requerido (*RNP*) (KASIM, 2017).

2.3 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) teve seu projeto inicial no início dos anos 70 e foi considerado completamente operacional no ano de 1993 (ICAO, 2012). Trata-se de um sistema de radionavegação composto por 30 satélites e que requer 24 para o funcionamento. Normalmente, os satélites excedentes são lançados ao lado de satélites que necessitam ser substituídos em um curto período de tempo. Os satélites estão distribuídos em seis planos orbitais, contendo quatro satélites cada, inclinados 55° graus em relação à linha do Equador, com cobertura em todo o globo e que viabilizam a navegação em três dimensões (ESTADOS UNIDOS, 2005).

O GPS fornece dois tipos de serviço: o Serviço de Posicionamento Padrão (SPS) e o Serviço de Posicionamento de Precisão (PPS). O primeiro é para uso da comunidade civil e o segundo para fins militares. O compromisso do governo americano, feito inicialmente em

1994 e reiterado em 2007, foi de manter o serviço operacional, livre de taxas e de avisar o seu encerramento com seis anos de antecedência (BLAKEY, 2007).

Desconsiderando os erros que possam afetar a recepção dos sinais de satélites, como os efeitos ionosféricos e dos receptores, a precisão do serviço SPS é muito superior ao padrão predeterminado. Enquanto o SPS padrão é de 13m e 22m para as posições horizontal e vertical em 95% do tempo considerado, a precisão medida por receptores GPS- distribuídos na América do Norte em 2007 - foi de 2,5m e 4,9m, respectivamente (FAA, 2008).

O GPS é composto pelos seguintes segmentos: Espacial, Controle e Usuário. O Segmento Espacial é a constelação de satélites que transmitem seus sinais nas frequências de 1575,42 MHz (L1), 1227,6 MHz (L2) e mais recentemente, em uma terceira frequência de 1176,45 MHz (L5). As frequências L1 e L5 estão nas faixas exclusivas dos Serviços de Rádio Navegação Aeronáuticas (ARNS), enquanto a L2 é compartilhada com outras aplicações do GPS.

O Segmento Usuário é composto por receptores dos sinais da constelação GPS que fazem o computo da posição tridimensional, velocidade e tempo (PST). Para isso são necessários quatro ou mais satélites. O Segmento Controle visa o monitoramento do funcionamento de cada satélite, das órbitas, a emissão de mensagens de navegação dos satélites e a sincronização do tempo GPS. É composto pela Estação Master, localizada no estado Colorado nos EUA, e por Estações Monitoras (USAF, 2005).

2.4 SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE (GLONASS)

O Sistema de Navegação Global por Satélites (GLONASS) é operado pela Rússia e teve o seu primeiro satélite lançado no espaço em 1982. Atualmente, mais de 80 satélites já foram lançados no espaço. Após um período de decadência vivenciado, a partir de 2003, o sistema passou por modernização com o lançamento de novas gerações de satélites: GLONASS - M e GLONASS - K e o está completamente operacional desde 2011 (VAZ; PISSARDINI; FONSECA JÚNIOR, 2013).

A constelação de satélites GLONASS é constituída por 24 satélites em três planos orbitais, com oito satélites cada. A inclinação é de 64,8°, a uma altitude 19.100 km e com período orbital de 11h e 15min (ICAO, 2012). Assim como o GPS, o GLONASS fornece dois tipos de sinais de navegação: o de Precisão (SP) e o de Alta Precisão (HP). Os sinais são transmitidos nas bandas de frequência L1 (1.602,5625 – 1.615,5 MHz), L2 (1.246,4375 –

1.256,5MHz) e L3 (1.202 – 1.208MHz). Ao contrário do GPS, que utiliza uma frequência de transmissão para todos os satélites, o GLONASS possui frequência exclusiva para cada satélite. Dois satélites até podem transmitir na mesma frequência, mas para isso devem estar em órbitas diametralmente opostas. A precisão do GLONASS, em 99,7% do tempo varia de 50 a 70m na posição horizontal para o serviço de Precisão e, de 10 a 15m para o de Alta Precisão. Na vertical, 70m para o SP e 8m para o HP (RUSSIA, 2018).

A arquitetura de funcionamento do GLONASS é muito semelhante ao GPS. No Segmento de Controle de Solo existem as funções de monitoramento de satélites, as correções de parâmetros das órbitas e o *upload* dos dados de navegação aos satélites. É composto pela Estação de Controle Central, Estações de Telemetria, Rastreamento e Controle e Estações de Enlace de Subida Espalhadas pelo país (MONTES; NEY, 2006).

2.5 GALILEO

O GALILEO é o GNSS Europeu que fornece posição altamente precisa para o uso civil, cujo serviço inicial ocorreu em dezembro de 2016, com plena capacidade prevista para o ano de 2020. A constelação do GALILEO é composta por 24 satélites, e mais seis satélites reservas, em três planos orbitais circulares igualmente espaçados. Os satélites estão localizados a 23.222 Km acima da superfície, com inclinação de 56° em relação ao Equador e período orbital de 14h e 22min (SVITAK, 2014).

O sistema terá interface com o GPS e o GLONASS e, operando em duas frequências, deverá fornecer serviço de posicionamento com precisão de 1 metro. Uma vez totalmente operacional, o GALILEO vai prover cobertura em latitudes acima de 75° Norte (ESA, 2018).

O GALILEO também é composto pelos segmentos Espacial, Terrestre e Usuário. O Segmento Terrestre visa o controle dos satélites e o gerenciamento da navegação. É constituído por duas estações de Controle Central Galileo (GCC), Estações de Sensores Galileo (GSS), Estações de Enlace de Subida (GUS) e uma Rede de Área Global (GAN) para conectar os elementos do segmento. As estações de Controle Central Galileo recebem as informações das Estações de Sensores e realizam a conferência da integridade das informações e a sincronização o tempo dos satélites com o relógio de destas estações sensores (ESA, 2018).

Os dez sinais do sistema GALILEO são transmitidos nas faixas frequência: 1.164-1.215 MHz (E5a e E5b); 1.260-1300 MHz (E6) e 1.559-1592 MHz (E2-L1-E1). O sistema irá

fornecer cinco tipos de serviço aos usuários e alguns serão pagos. O Serviço Aberto (*Open Service - OS*) fornecerá posicionamento global aberto e gratuito à toda comunidade. O Serviço Comercial (*Commercial Service*) será pago e restrito a aplicações comerciais e profissionais. O Serviço de Busca e Resgate (*Search and Rescue*) é destinado à determinação da posição para socorro em qualquer parte do planeta. O Serviço Público Regulado (*Public Regulated Service*) serve a ações de governo e com acesso controlado. Por fim, o Serviço de Salvamento de Vidas (*Safety of Life – SoL*) é mais preciso que o OS e se destina, principalmente, para dar suporte às operações aeronáuticas, desde voos em rota até aproximação e pouso (FILIP; BEUGIN; MOCEK, 2008).

2.6 SISTEMAS DE ACRÉSCIMO DE SINAIS DE SATÉLITES

Embora precisos, os sinais das constelações GNSS estão sujeitos a efeitos e interferências que podem causar erros na determinação da posição e do tempo para os usuários. Tais erros estão associados a fenômenos definidos como Tempo Espacial (*Space Weather*), Falhas nos Sistemas ou Procedimentos (*Faults in Systems or Procedures*) e Atores Maus (*Bad Actors*) (BLANCH; WALTER; ENGE, 2015).

A ionosfera, camada da terra que se estende de 70 até 1300 km, é a principal fonte de erros Tempo – Espacial. Por intermédio dela, ocorrem atrasos e cintilação³ dos sinais emitidos pelos satélites e recebidos pelos usuários. Os distúrbios ionosféricos, por sua vez, são causados pelas atividades solares. A troposfera também pode ocasionar atrasos e, conseqüentemente, erros na recepção dos sinais causados por meio dos dutos troposféricos (BALVEDI, 2006). A reflexão e a difração podem gerar a recepção adicional de sinais que estão atrasados em relação aos sinais com linha de visada direta. Este erro é definido como de Multicaminho.

As Falhas nos Sistemas ou Procedimentos ocorrem por erros, não intencionais, nos processos humanos, de *hardware* e *software*. Entre estes erros estão os Erros de Efemérides (quando a mensagem enviada pelo GNSS não condiz com a posição correta do satélite); Erro do Relógio do Satélite (são erros que ocorrem nos relógios que equipam os satélites e ocasionam mudanças na distância medida); Erro de Diluição da Precisão (erro associado à geometria dos satélites em relação aos receptores); Erro na recepção pelo obscurecimento da

³ É a rápida variação da amplitude e na fase dos sinais GNSS recebidos.

Antena (erros que bloqueiam a recepção dos sinais pela antena causados por obstáculos naturais, construídos ou pela própria aeronave) (SABATINI; MOORE; RAMASY, 2017).

Os *Bad Actors*, ou Maus Atores, são erros causados intencionalmente para suprimir os sinais de satélites, ou ainda pior, introduzir sinais falsos. Como os sinais GNSS atingem a terra com uma potência extremamente baixa, podem ser sobrepujados por sinais emitidos dentro do espectro de frequência destinado exclusivamente à aviação (*jammers*). Os sinais falsos emitidos são mais perigosos porque possibilitam a determinação de posições falsas e sem a detecção de erro (*spoofers*) (BLANCH; WALTER; ENGE, 2015).

Desta forma, os sistemas GNSS por si só não são capazes de fornecer altos níveis de precisão e integridade requeridos para todas operações na aviação, especialmente em alguns procedimentos de aproximação e pouso. Assim, os sistemas de acréscimo/aumentação de sinal têm como objetivo melhorar o desempenho e a confiabilidade do GNSS, adequando-os para a aviação, por meio da mitigação dos erros e geração de alertas de indisponibilidade aos usuários (SABATINI; MOORE; RAMASY, 2017). Os principais sistemas desenvolvidos para a aviação são o ABAS (*Aircraft-Based Augmentation System*), SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*), GBAS (*Ground-Based Augmentation System*) e GRAS (*Ground-Based Regional Augmentation System*). Os três últimos classificados como GNSS Diferencial (DGNSS).

2.7 ABAS

O ABAS é o sistema que integra informações obtidas dos satélites com as informações disponíveis dos equipamentos a bordo das aeronaves. O ABAS inclui métodos de monitoramento de integridade através de medidas redundantes dos satélites e, também possui sensores embarcados que permitem as operações aéreas com o uso do serviço GNSS (MURPHY; HARRIS; BRAASCH, 2001). O método mais conhecido do ABAS é o Receptor Autônomo de Monitoramento de Integridade (*RAIM*), mas existe também o *AAIM* (Monitoramento de Integridade Autônomo da Aeronave).

O *RAIM* depende do número de satélites visíveis, fase do voo, ângulo da máscara do receptor e algoritmo usado. Realiza medições individuais do receptor em relação a cada satélite disponível e compara estas medições individuais com as medições do conjunto de satélites. Havendo discrepâncias nos tempos (que geram posições errôneas no espaço), o sistema alerta o usuário. Embora a navegação aérea necessite quatro satélites, o *RAIM* requer

pelo menos cinco satélites para obter a “conferência” da navegação. O método *RAIM* utiliza informações de monitoramento exclusivas do GNSS. Por sua vez, o *AAIM* se serve de informações adicionais de sensores embarcados como o sistema inercial e o altímetro barométrico (CHUJO, 2007).

Outras funcionalidades devem existir na função *RAIM*. Quando algum dos quatros satélites não puder atender os requisitos para a garantia da integridade é necessário que ele seja detectado (*FD – Fault Detection*) e excluído da navegação (*FDE – Fault Detection and Exclusion*). Assim são necessários frequentemente seis ou sete satélites “a vista” para o funcionamento da função (ICAO, 2012).

O método de acréscimo de sinal *RAIM* não requer estruturas de referências em terra, ao contrário dos sistemas *SBAS* e *GBAS*. Todavia, a detecção de falhas é intrinsicamente mais fraca que os métodos *SBAS* e *GBAS*, uma vez que a posição da aeronave não pode ser referendada por estações em solo que corrigem os sinais recebidos dos satélites e os enviam às aeronaves em voo (TONG; ZHANG; OU, 2011).

Embora classificado como um sistema de acréscimo/aumentação de sinal pela ICAO, o *RAIM* não possibilita o aumento da precisão da navegação, mas sim o cheque de integridade dos sinais (COSCAP, 2010). Portanto, os níveis de precisão são os publicados pelos provedores dos serviços GNSS (Departamento de Defesa no caso do GPS e Governo Russo no caso do GLONASS) para as variadas partes do globo.

2.8 SBAS

O Sistema de Acréscimo/Aumentação de Sinal (*Satellite-Based Augmentation System*) é o sistema certificado pela ICAO para fornecer informações de acréscimo/aumentação de sinal GNSS para uma determinada área de cobertura, por meio do uso de satélites geoestacionários, melhorando os níveis de integridade, precisão e disponibilidade.

Alguns países já implementaram o SBAS ou estão desenvolvendo seu próprio sistema. Os Estados Unidos são o pioneiro por meio do *WAAS (Wide Area Augmentation System)*. Este sistema está em operação desde 2003. A União Europeia possui o *EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)* que fornece um serviço aberto, gratuito e adaptado a aplicações de transporte. A federação Russa possui o *SDCM (Differential Correction and Monitoring)*. O Japão tem o *MSAS (Multi-functional Sattelite Augmentation*

System); a Índia já lançou o *GAGAN (Geo-Augmented Navigation System)* e a Coreia do Sul está desenvolvendo o *KASS (Korea Augmentation Satellite System)* (CHOY *et al.*,2016).

Os sistemas SBAS desempenham suas funções por meio de arquiteturas de funcionamento bastante semelhantes: Os sinais de satélites são transmitidos e recebidos pelos usuários e por Estações de Referência de Monitoramento de Integridade, instaladas em solo. Estas Estações, por sua vez, retransmitem os dados recebidos a uma Estação de processamento chamada de Estação Mestre. A Estação Mestre avalia os sinais recebidos e calcula as correções necessárias, baseada nos erros dos relógios dos satélites e na transmissão dos parâmetros das efemérides, comparando-os com as posições das estações de referência. As correções, então, são enviadas a Estação de Enlace de Subida que as enviam ao satélite geostacionário. Finalizando o processo, as correções são enviadas ao usuário pelo satélite geostacionário (FAA, 2014).

Os padrões de transmissão de mensagens SBAS, os níveis de integridade requeridos para as operações e os métodos para calcular as probabilidades de falhas do sistema estão definidos em documentos técnicos da ICAO e da Comissão Técnica de Rádio para a Aeronáutica (*RTCA*) (CHOY *et al.*,2016).

Os sistemas SBAS fornecem condições para a realização dos três tipos de aproximação e pouso classificados pela ICAO: Não Precisão (*Non Precision Approach*), Aproximação com Guia Vertical (*Approach Procedure with Vertical Guidance*) e Aproximação de Precisão (*Precision Approach*). Cada tipo será definido de acordo com a infraestrutura aeronáutica disponibilizada (ICAO, 2006).

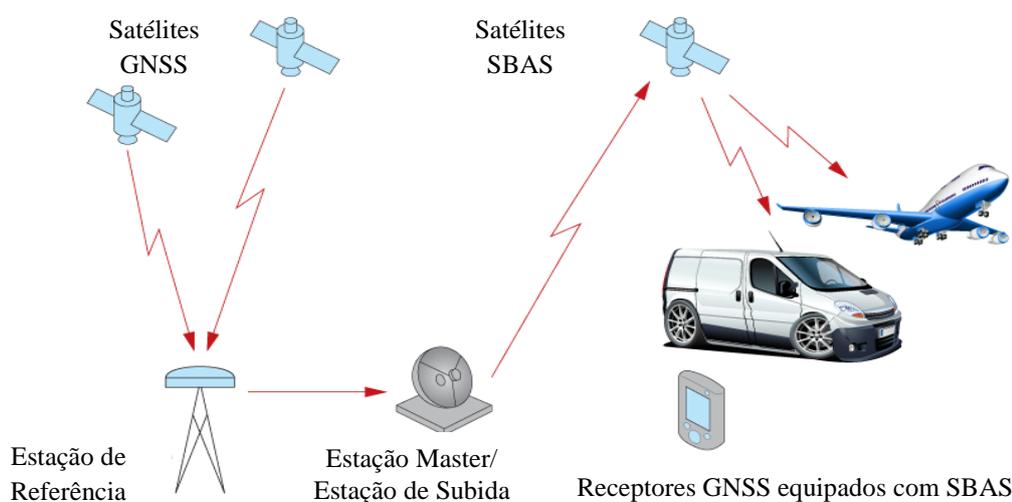


Figura 1: Arquitetura SBAS (Fonte: <https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-5-resolving-errors/satellite-based-augmentation-systems/>)

2.9 GBAS

O sistema de Acréscimo/Aumentação baseado em solo (*GBAS*) fornece correções diferenciais e dados de integridade dos sinais GPS e GLONASS utilizando estações de referência localizadas em um aeroporto. O *GBAS* pode fornecer condições para a navegação aérea na área terminal e para aproximação e pousos de precisão categorias de I a III (HEGARTY; CHATRE, 2008).

De modo semelhante ao SBAS, o GBAS possui estações de referência em solo para a verificação da precisão e integridade dos sinais de satélites recebidos. Todavia, as informações contendo as correções são enviadas diretamente às aeronaves por transmissores em *VHF* e não por meio dos satélites geoestacionários.

O *GBAS* é composto por receptores de referência, localizados geralmente no sítio aeroportuário, uma estação *GBAS*, transmissores *VHF* e pelos aviônicos instalados nas aeronaves. Os receptores de referência captam os sinais dos satélites GNSS, determinam a distância pelo tempo de viagem, e os transmitem à estação *GBAS*. Esta gera as mensagens de correção e as envia, por meio dos transmissores *VHF*, às aeronaves (FAA, 2014).

O grande representante do sistema *GBAS* é o Sistema de Aumentação/Acréscimo Local de Área (*LAAS – Local Area Augmentation System*). O *LAAS* é composto por três ou mais receptores de referência, uma única estação de referência e as mensagens de correções dos sinais são enviadas às aeronaves por meio dos transmissores *VHF* nas frequências de 108.0 até 117.95 Mhz (MURPHY; IMRICH, 2008).

A infraestrutura *GBAS* pode atender várias pistas de pouso e decolagem em um aeródromo ou mesmo mais de um aeroporto dentro de um raio determinado (45 km). Para isso, porém, é necessário que não ocorram interferências, obstruções e os erros de multicaminho dos sinais. Os procedimentos de aproximação e pouso que utilizam o *GBAS* são definidos como *GLS (GBAS Landing System)* (ICAO, 2010).

No mundo existem 8 estações *GBAS* localizadas nos Estados Unidos, Espanha, Alemanha, Suíça e Austrália. O Brasil instalou uma no aeroporto do Galeão no Rio de Janeiro. Na primeira fase de testes entre 2011 e 2014 foi detectado problemas técnicos no uso do *GBAS* o que, impossibilitaria seu uso. Recentemente, novos estudos têm sido feitos pelo DECEA em parceria com o FAA, para solucionar o problema e fazer sua implementação definitiva (DECEA, 2017).

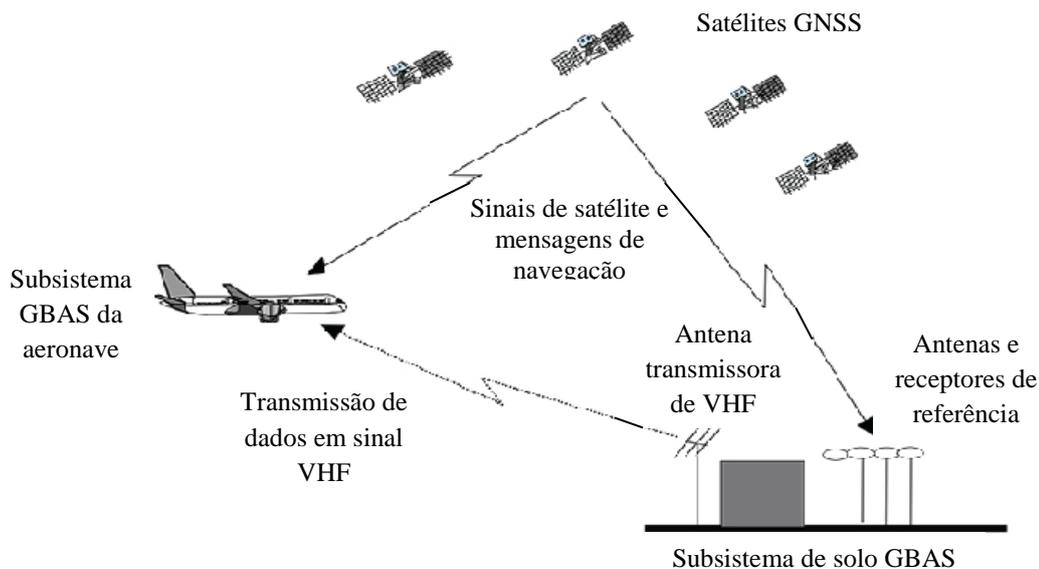


Figura 2: Arquitetura GBAS

Fonte: <http://gpsworld.com/innovation-ground-based-augmentation/>

2.10 GRAS

O Sistema GRAS (*Ground-Based Augmentation System*), assim com os demais sistemas de acréscimo, visa aprimorar a precisão e integridade dos sinais GPS e permitir o acesso aos aeroportos em condições de menores visibilidades e teto. Ele foi desenvolvido e está em operação na Austrália.

O GRAS é um sistema que utiliza, de forma análoga ao SBAS, estações de referência espalhadas no território australiano (*GRS – GRAS Reference Station*) que recebem os sinais GPS e os enviam à Estação Mestre (*GMS – GRAS Master Station*). A *GMS* processa as informações e envia as mensagens de correções para transmissores *VHF*, semelhantes ao sistema GBAS. Estes, retransmitem às aeronaves. Diferentemente do SBAS, o GRAS não possui satélites geoestacionários (MCPHERSON; ELROD, 2000).

3 NAVEGAÇÃO BASEADA EM PERFORMANCE (PBN)

A navegação aérea, pilar fundamental do CNS/ATM, passa por atualizações e modificações. Até a última década do século passado, o deslocamento das aeronaves no espaço, voando sob condições de instrumentos, era todo estruturado na recepção de ondas de rádio emitidas por estações terrestres que permitiam aos pilotos se orientarem no espaço (KAYTON; FRIED, 1997).

Para cumprir uma rota de navegação aérea convencional, as aeronaves necessitam sobrevoar com auxílios de rádios instalados em solo. A organização do espaço aéreo, a criação de rotas de navegação aérea e os procedimentos de aproximação e pouso por instrumentos (IAP) são desenvolvidos baseados exclusivamente no desempenho dos auxílios da navegação convencional como Rádio Farol Não Direcional (NDB), o Rádio Omnidirecional em Frequência Muito Alta (VOR), o Equipamento Medidor de Distância (DME) e o Sistema de Pouso por Instrumentos (ILS) (ICAO, 2013). Tais auxílios, por limitações físicas do terreno ou da infraestrutura na superfície terrestre, nem sempre podem ser instalados na menor distância entre pontos considerados (PAMPLONA, 2014).

A PBN representa a mudança de uma navegação totalmente dependente de auxílios convencionais na orientação do voo por instrumentos (IFR) para a navegação usuária de satélites que, além da orientação, define níveis de precisão, integridade, disponibilidade e continuidade. Tais níveis são expressos por meio de especificações de navegação que estabelecem condições de voo para que um operador aéreo possa percorrer uma rota e ou realizar decolagens e pousos em determinados espaços aéreos. Assim, o espaço aéreo passa a ser definido com requisitos de performance/desempenho para ser acessado e não mais em tipos específicos de sensores de auxílios convencionais à navegação (ICAO, 2013a).

A PBN permite realizar rotas de navegação diretas (ponto a ponto), aproximação com rampa de descida de modo contínuo e pousos através de satélites. Desta forma, gera menores distâncias percorridas, diminuição de tempo de voo e emissão de dióxido de carbono (CO₂), economia de combustível, trajetórias de voos mais precisas e possibilita otimizar o uso do espaço aéreo (RONDON; CAPANEMA; FONTES, 2014). Também, com a PBN ocorre a redução de custos inerentes à manutenção de auxílios à navegação convencional e de adequação do espaço aéreo a estes auxílios (ICAO, 2013).

De acordo com a ICAO (2016), a PBN permite diminuir o consumo de combustível de 1 a 2 % por voo. A redução de 1% representa economia de 600 milhões de dólares americanos (US\$) por ano para a indústria do transporte aéreo mundial e a quantidade de 1,2 milhões de toneladas de CO₂ deixa de ser emitida à atmosfera neste período. Isto equivale à circulação de 300 mil veículos.

O Brasil implementa a Navegação Baseada em Performance desde o ano de 2009 e recentemente - outubro/2017 - reestruturou o espaço aéreo na região sul do país. Segundo o DECEA (2017a), as novas rotas PBN reduziram mais de 1400 milhas náuticas (NM) em relação às rotas antigas apenas nesta parte do espaço aéreo nacional. Considerando o impacto em 300 mil voos por ano, o consumo de combustível será de duas mil toneladas a menos e 6,5 toneladas de CO₂ não serão lançadas na atmosfera.

O conceito da PBN foi introduzido pela ICAO em 2008 devido a necessidade de padronização mundial dos procedimentos de Navegação de Área (RNAV) e Performance de Navegação Requerido (RNP) que estavam sendo aplicados inconsistentemente de um país para outro e de uma região para outra (ICAO, 2017). A PBN não é um sistema de navegação novo, mas a unificação de requisitos operacionais para RNAV e RNP (PAMPLONA, 2014).

O método de RNAV permite a operação de uma aeronave em qualquer trajetória de voo (Figura 3). Isto pode ser dentro da cobertura de auxílios rádios convencionais, dentro da capacidade autocontida dos sistemas de navegação das aeronaves ou uma combinação entre eles (KASSIM, 2017). Os sistemas de navegação aérea autocontidos são independentes de quaisquer auxílios de solo e, como exemplo, temos o Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sistema de Navegação por Satélite de Órbita Global (GLONASS) e o Sistema de Referência Inercial (IRS).

O sistema mais moderno de RNAV é a combinação entre a utilização de auxílios rádios e sistemas autocontidos, no qual a navegação de área é realizada por um Sistema Gerenciador de Voo (FMS). O FMS é um sistema integrado composto por sensores de voo, receptores, computadores, banco de dados de navegação e de performance da aeronave. Por meio dele são realizados cálculos que otimizam o voo e fornecem parâmetros de navegação lateral e vertical para o sistema de controle de voo. Calculam a autonomia da aeronave, distância, tempo de voo e servem para planejamento de rota (ICAO, 1999). Neste sentido, o FMS pode ser considerado uma excelente ferramenta no geoprocessamento de informações aeronáuticas enquanto uma aeronave se desloca no espaço.

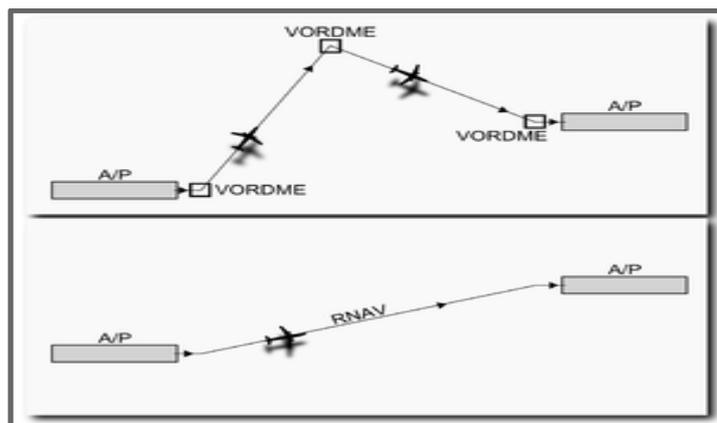


Figura 3: Diferença entre Navegação Convencional e Navegação de Área (RNAV)

Fonte: ICAO (2013a)

Já o RNP pode ser caracterizado como a RNAV adicionada da capacidade do sistema de navegação embarcado de monitorar, em tempo real, o nível de desempenho de navegação. Além disso, pode gerar alertas para os pilotos quando houver afastamento além dos limites estabelecidos em cada especificação PBN. Em adição, o afastamento lateral não deve ser duas vezes superior ao limite estabelecido em 99,99% do tempo de voo conforme exposto na Figura 4 (PAMPLONA; FORTES; ALVES, 2015).

Quando se percorre uma rota RNAV, definida por dois ou mais fixos de navegação (*wapoints*), criados por meio de coordenadas geográficas, é necessário que as aeronaves se mantenham dentro de um limite de afastamento lateral máximo do eixo desta rota. Este limite é dado por um número em milhas náuticas (Nm) e representa a probabilidade de que, em 95% por cento do tempo de voo considerado, a posição calculada pelo sistema de navegação estará dentro do limite de tolerância estabelecido. Assim, por exemplo, em uma operação com RNAV 5, a posição calculada deve estar no limite de 5 NM à direita ou à esquerda, em 95% do tempo, do centro da rota (COSCAP, 2010).

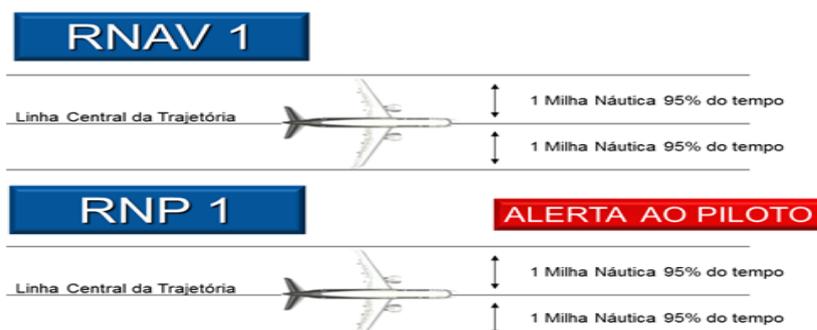


Figura 4: RNAV e RNP

Fonte: http://code7700.com/pdfs/ac_20-138d_airworthiness_approval_of_positioning_and_navigation_systems.pdf

De acordo com o Manual PBN da ICAO (2013a), as especificações de navegação são classificadas em RNAV 10, 5, 2 e 1, e RNP 4, 2, 1, Advanced RNP, RNP APCH, RNP AR APCH, RNP 0.3 e RNP com requisitos adicionais. Estas são utilizadas para voos em rota (oceânica, continental), na Chegada (STAR), Saída Padrão por Instrumento (SID), em Aproximação e, Pouso por Instrumentos (IAP). As especificações estão demonstradas na Figura 5.

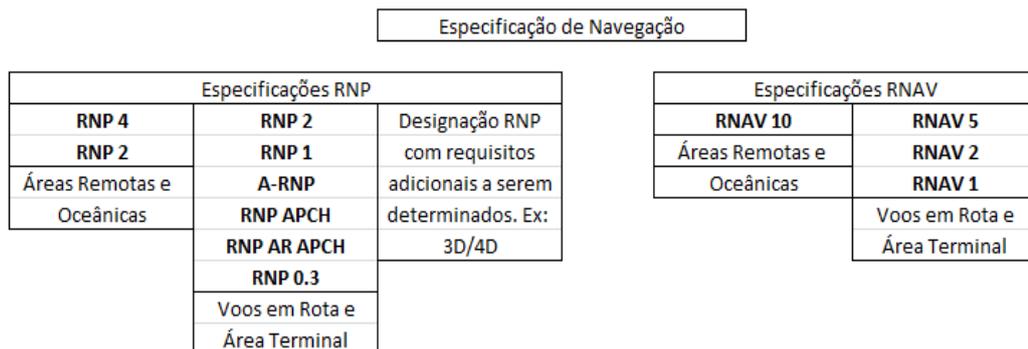


Figura 5: Especificações RNAV e RNP
Fonte: ICAO (2013a)

O espaço aéreo brasileiro conta com as especificações RNAV 10, 5, 2, 1 e com as RNP 4, 1, RNP APCH (DECEA, 2018). Os procedimentos Baro VNAV são operações complementares à especificação RNP APCH ou RNP AR APCH (ICAO, 2013a).

Designação da Operação	Precisão Lateral da Navegação	Área de Aplicação
RNP 10 (RNAV 10)	10	Em rota – Oceânica / Remota
RNAV 5	5	Em rota – Continental
RNAV 1 e 2	1 e 2	Em rota – Continental / Área Terminal
RNP 4	4	Em rota – Oceânica / Remota
RNP 1	1	Área Terminal
RNP APCH	0.3	Aproximação
RNP AR APCH	0.5 – 0.1	
APV/BARO-VNAV	-	

Figura 6: Especificações RNAV/ RNP e fases de voo no espaço aéreo brasileiro
Fonte: ANAC (2017a)

A navegação baseada em performance é estruturada em três componentes interdependentes: Aplicação de Navegação (*Navigation Application*), Infraestrutura de Auxílios à Navegação (*Navaid Infrastructur/NAVAID*) e Especificação de Navegação (*Navigation Specification*). A Aplicação de Navegação se refere ao uso da Especificação de Navegação e da Infraestrutura dos Auxílios à Navegação para voos em espaços aéreos

definidos. A Infraestrutura de Auxílios à Navegação são os auxílios em solo (VOR e DME) e do espaço (GNSS) para orientação geográfica às aeronaves.

A Especificação de Navegação define o desempenho requerido do sistema RNAV e ou RNP em termos de precisão, integridade e continuidade. Por meio de cada especificação PBN são estabelecidos critérios técnicos e operacionais para que operadores (empresas aéreas) possam executar voos baseados em performance. Tais critérios são a elegibilidade da aeronave (*aircraft eligibility*), os requisitos da aeronave (*aircraft requirements*) e, envolvendo diretamente os pilotos, o conhecimento e treinamento (*pilot knowledge and training*) (PAVLOVA; ZADOROZHNIYA, 2014). Importante salientar que cada especificação de navegação possui sua particularidade e que o cumprimento de uma especificação mais rigorosa de precisão por parte do operador, não o torna automaticamente em condições de realizar uma de menor precisão (ICAO, 2013a).

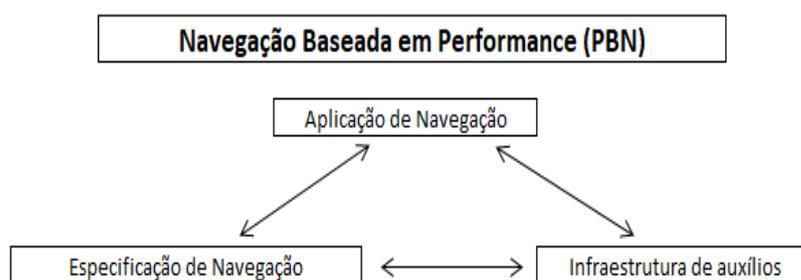


Figura 7: Estruturação da Navegação Baseada em Performance
Fonte: ICAO (2013a)

Para uma aeronave ser elegível para realizar operações PBN, o fabricante deve cumprir critérios de aeronavegabilidade propostos pela (s) autoridade (s) aeronáutica (s) para a certificação PBN e a sua condição de aprovação estar declarada no manual de voo. Certificações posteriores são possíveis de serem feitas mediante atualização e/ou instalação de equipamentos por meio de boletins de serviço (*service bulletins*) ou remodelação do projeto original, via Certificado Suplementar de Tipo (CST) (ANAC, 2017).

Como requisitos da aeronave são necessários o cumprimento de critérios estabelecidos para os sistemas de navegação RNAV e ou RNP referentes ao monitoramento e alerta da trajetória de voo; integração de sensores (VOR, DME, GNSS, IRS) e existência de funcionalidades dos sistemas RNAV e ou RNP (ANAC, 2017). Algumas destas funcionalidades incluem a necessidade de mostrar aos pilotos a posição da aeronave em relação ao centro da rota no campo de visão primário; a distância, rumo, velocidade em

relação ao solo (*Ground Speed*) e o tempo de voo para o *waypoint* ativo bem como os sensores ativos da navegação.

Como condição de aprovação de uma especificação PBN também é necessário que operadores aéreos comerciais forneçam treinamento e assegurem o conhecimento da tripulação à operação PBN pretendida. Assim, os pilotos devem conhecer aspectos de pré-voo, voo e procedimentos de contingência relacionados (ICAO, 2013a). Necessitam saber das capacidades e limitações dos sistemas RNAV/RNP instalados e descritos no Manual de Voo. Devem saber elaborar plano de voo (item importante para o gerenciamento de tráfego aéreo, por parte dos órgãos de tráfego aéreo); conhecer regulamentos e autorizações aplicáveis; documentos obrigatórios a bordo e, principalmente, reconhecer os níveis de automação, alertas, anúncios, reversões, degradação do sistema RNAV/RNP e sua integração com os demais sistemas da aeronave, através do monitoramento e interpretação dos aviônicos/símbolos/*displays* em cada fase de voo (ICAO, 2013a).

4 ANÁLISE MULTITEMPORAL DO TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL

A presente análise tem o objetivo de demonstrar um panorama do tráfego aéreo brasileiro nos últimos doze anos. Com base nos dados, foi feita compilação dos trinta e cinco aeroportos de maior movimento no país entre 2006 e 2017 (os aeroportos de Ribeirão Preto e Porto Seguro não foram objeto de análise) e que englobam todas as capitais dos estados federados. Foram considerados números de embarque/ desembarque de passageiros e pousos/decolagens das aeronaves nas localidades. Aos passageiros embarcados e desembarcados nos aeroportos são somados os passageiros em conexão (INFRAERO, 2017).

Inicialmente foi elaborada pesquisa bibliográfica com base em dados e publicações dos últimos 12 anos provenientes do anuário estatístico de movimento de passageiros e aeronaves da Empresa INFRAERO do período para todos os 35 aeroportos descritos, exceto: Guarulhos e Brasília após 2012; Confins, Galeão e Natal após 2014. Nestes aeroportos, os dados foram obtidos junto a GRU AIRPORT para Guarulhos; AEROPORTOS BRASIL para Campinas; BH AIRPORT e RIO GALEÃO para Confins e Galeão, respectivamente e INFRAMERICA para Natal e Brasília. Também, foram feitas pesquisas nos Anuários Estatísticos e de Horários de Voo Regulares de empresas aéreas comerciais publicadas pela Agência Nacional de Aviação Civil.

Foi calculado o crescimento ou redução percentual dos parâmetros de movimento de passageiros e movimento de aeronaves nos 35 aeroportos analisados considerando o primeiro e último anos (2006 e 2017) com base na seguinte equação: $Diferença = (dado\ de\ 2017 - dado\ de\ 2006) / dado\ de\ 2006$.

Todos os aeroportos apresentaram crescimento em termos de movimento de passageiros nestes anos. Exceção feita apenas ao aeroporto da Pampulha em Belo Horizonte/MG que retraiu de mais de oitocentos mil passageiros em 2006 para quase 235 mil em 2017. Esta queda acentuada no movimento de passageiros ocorreu pela proibição de aeronaves de grande operar neste aeroporto iniciada em 2005. Entretanto, alguns voos ligando o aeroporto da Pampulha a São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília foram mantidos (em 2005, 2006 e 2007) até a conclusão das obras da linha verde (rodovia que liga o aeroporto de Confins até Belo Horizonte) em 2007.

A maior porcentagem de crescimento foi observada em Campinas, com 1029,52 % no período, seguida por Navegantes, Cuiabá e João Pessoa com mais de duzentos por cento. Foz do Iguaçu, Teresina, Palmas, Confins e o aeroporto Santos Dumont cresceram com números superiores a 150%. A figura 8 e tabela 1 mostram o crescimento percentual dos aeroportos no período considerado.

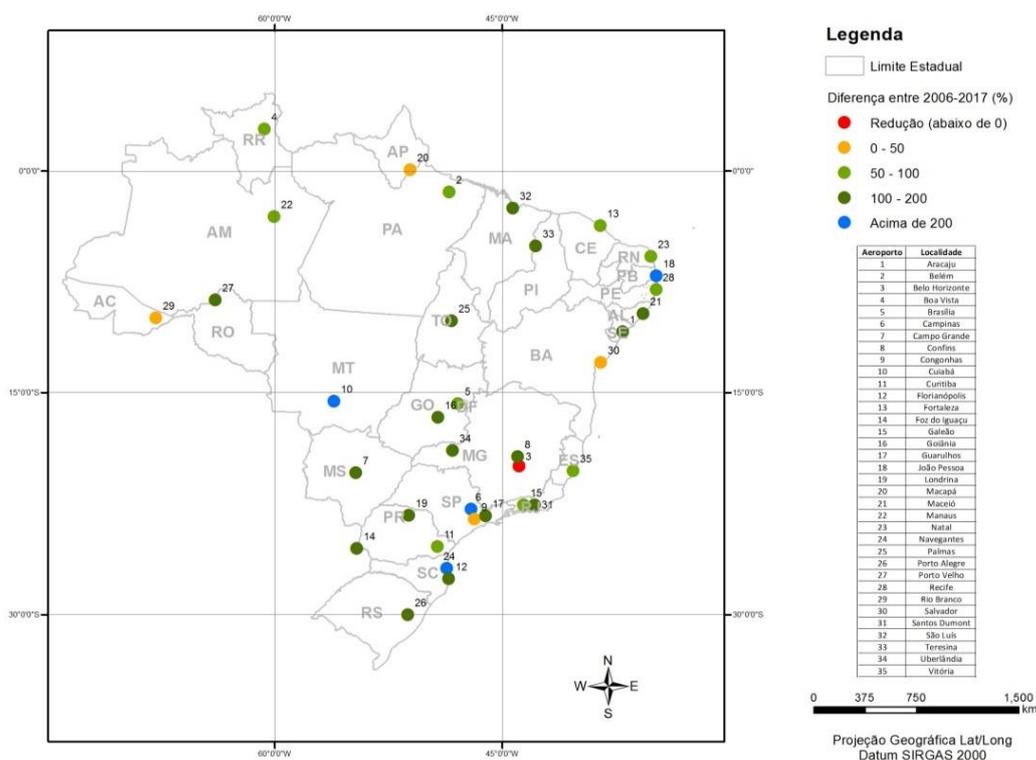


Figura 8: Crescimento do movimento de passageiros nos aeroportos

Tabela 1: Crescimento percentual do movimento de passageiros nos aeroportos no período de 2006 a 2017

Aeroporto	Per%	Aeroporto	Per%	Aeroporto	Per%	Aeroporto	Per%
1-Campinas	1029,52	2-Navegantes	240,41	3-Cuiabá	209,46	4-J. Pessoa	209,9
5-F. Iguaçu	197,78	6-Teresina	190,29	7-Palmas	186,61	8-Confins	172,68
9-S.Dumont	160,25	10-Guarulhos	139,96	11-Maceió	137,37	12-Florian	135,77
13-Uberlândia	127,81	14-Goiânia	124,38	15-Goiânia	124,38	16-P. Velho	123,54
17-S. Luis	116,20	18-C. Grande	113,83	19-Londrina	111,82	20-P. Alegre	108,30
21-Aracaju	107,74	22-Recife	96,69	23-Curitiba	90,27	24-B.Vista	87,89
25-Belém	86,48	26-Galeão	83,43	27-Fortaleza	80,79	28-Brasília	74,36
29-Natal	72,64	30-Manaus	56,54	31-Salvador	42,57	32-R.Branco	27,49
33-Macapá	19,96	34-Congonhas	18,42	35-Pampulha	-70,70		

Considerando a soma do movimento dos 35 aeroportos, em 2006 houve o movimento de 99,5 milhões de passageiros. No fim do ano passado, o número foi de 196,5 milhões, crescimento de 97,41% (Apêndice A). O ano em que ocorreu o maior movimento de pessoas embarcando e desembarcando foi o de 2015 com 206,2 milhões (Figura 9). Naquele ano, o

valor médio do quilômetro voado por passageiro caiu 11,7% comparado com 2014 e a cada 100 assentos vendidos em voos domésticos, mais de 11 foram com tarifas inferiores a cem reais e 57,5% comercializados com valores menores de R\$ 300,00 (ANAC, 2016).

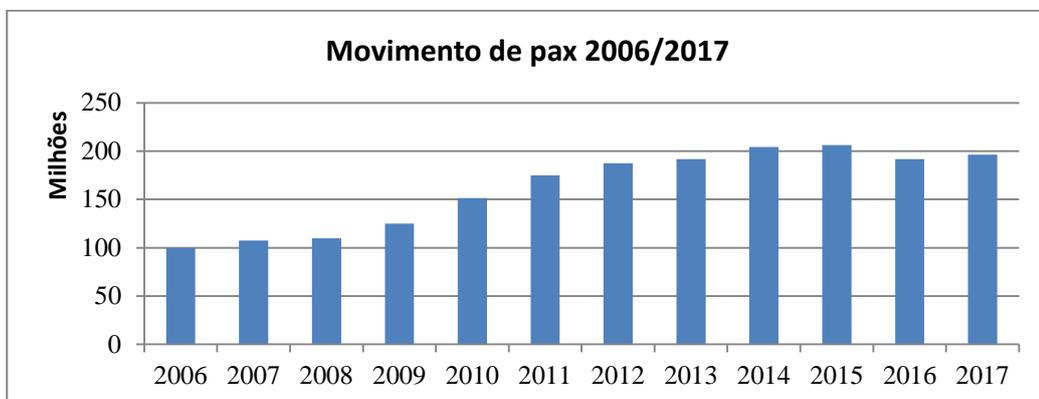


Figura 9: Movimento de Passageiros de 2006 a 2017 nos aeroportos

Outros dados que demonstram o crescimento do tráfego aéreo são os movimentos de aeronaves. Todo pouso e toda decolagem são considerados movimentos separados para fins estatísticos. Percentualmente, em relação ao crescimento da quantidade de passageiros, os números são inferiores. Porém, o aumento no período foi de 27,15%. O movimento em 2006 foi de 1.551.772. A contabilização da quantidade em 2017 atingiu 1.973.045 movimentos nos aeroportos. O ano de maior movimento foi em 2012 com mais de 2 milhões e 400 mil (Figura 10).

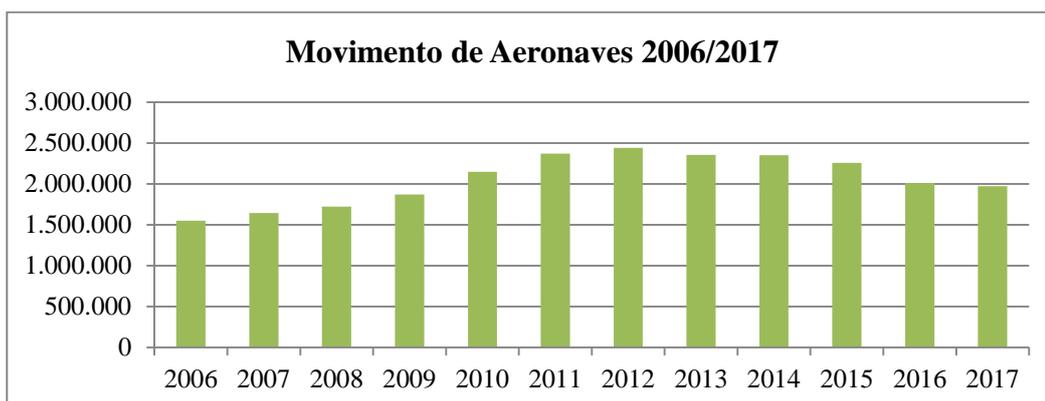


Figura 10: Movimento de Aeronaves 2006 a 2017 nos aeroportos

Referente ao movimento de passageiros dos principais aeroportos brasileiros, o aeroporto de Guarulhos é o de maior movimento em termos de números absolutos desde 2007. No ano de 2006, o movimento registrado foi de 15.759.181 passageiros. Ao

compararmos com 2017, houve um crescimento de aproximadamente 140 %. O ano de maior movimento foi 2014 com 39.537.000 de passageiros (Figura 11).

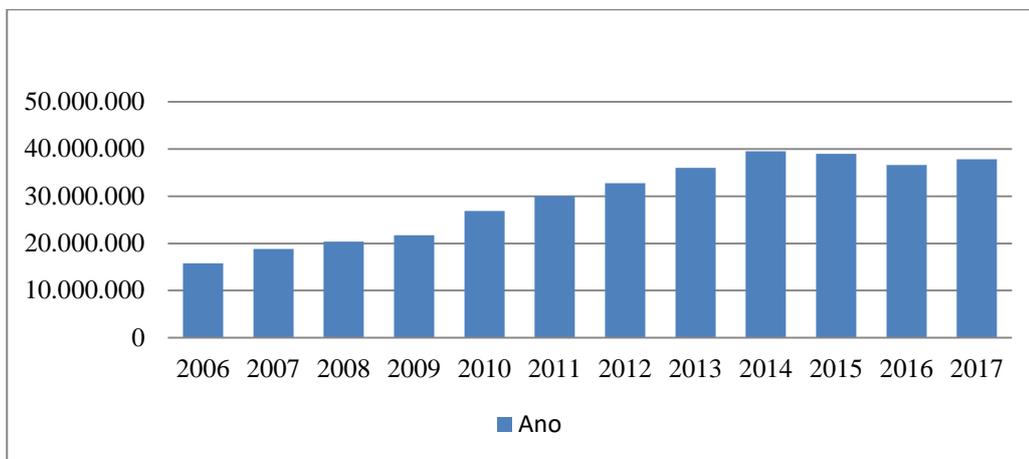


Figura 11: Movimento de Passageiros em Guarulhos 2006 a 2017

A quantidade de aeronaves que pousaram e decolaram no aeroporto Governador André Franco Montoro em Guarulhos saltou de 154.948 em 2006 para 263.327 em 2017 (aumento de cerca de 70%), ou seja, metade do percentual de aumento de passageiros. Isto demonstra uma maior taxa de ocupação das aeronaves que passam neste aeroporto. O ano de maior movimento foi em 2014 com mais de 304 mil (Figura 12). O crescimento médio do período foi de 6,36% com quase setenta por cento ao longo dos doze anos. O aeroporto se destaca por ser a principal porta de entrada no Brasil e ser um dos principais HUBs (Ponto de conexão para os destinos finais dos passageiros) da América do Sul. Desde o ano de 2012 a sua gestão pertence ao grupo GRU AIRPORT.

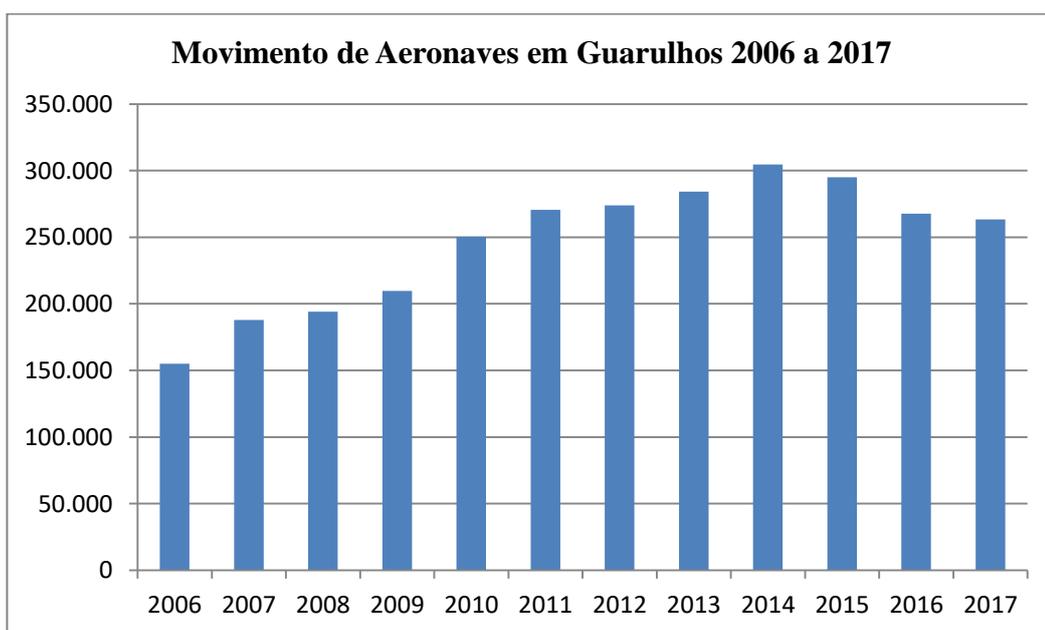


Figura 12: Movimento de Aeronaves em Guarulhos 2006 a 2017

O aeroporto de Congonhas foi o de maior movimento no ano de 2006 com mais de 18 milhões de passageiros embarcados ou desembarcados. Em 2007, ano do acidente do TAM 3054, caiu para o segundo lugar e o manteve até 2011. Em 2012 foi ultrapassado pelo aeroporto do Galeão, mas recuperou o posto em 2013. Em 2014 e 2015 caiu novamente para o terceiro lugar em movimento de passageiros, atrás de Guarulhos e Brasília. Desde 2016 voltou a ser o segundo aeroporto, com mais de 20 milhões de passageiros (Figura 13). Todavia, o movimento de aeronaves apresentou crescimento mais modesto. Em 2006 e 2017, as aeronaves que pousaram e decolaram de Congonhas foram 205.564 e 217.918, respectivamente. Aumento de 6% no intervalo de tempo (Figura 14).

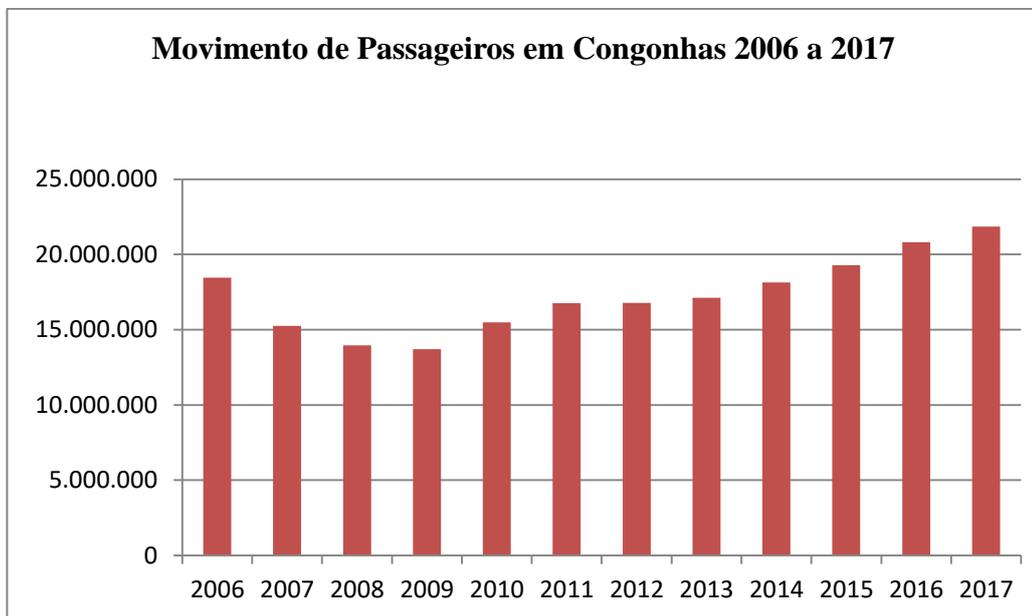


Figura 13: Posição e movimento de passageiros no aeroporto de Congonhas (2006 a 2017)

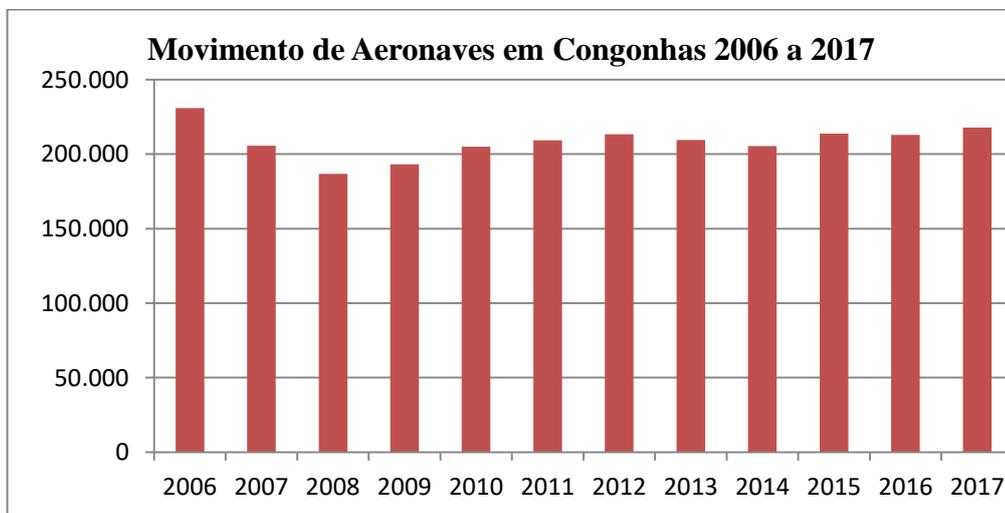


Figura 14: Posição e movimento de aeronaves no aeroporto de Congonhas (2006 a 2017)

Brasília teve crescimento de 74,36% nos doze anos no número de passageiros. Os passageiros que embarcaram e desembarcaram em 2006 foram aproximadamente 9,7 milhões e em 2017 o registro foi de 16,9 milhões (Figura 15). O ano de maior movimento foi 2015 com 19,8 milhões. O movimento de aeronaves na capital federal também apresentou crescimento uma vez que foi de 126.427 em 2006 e mais de 148 mil em 2017. A média foi de 1,75% por ano e 17,55% ao longo destes onze anos (Figura 16).

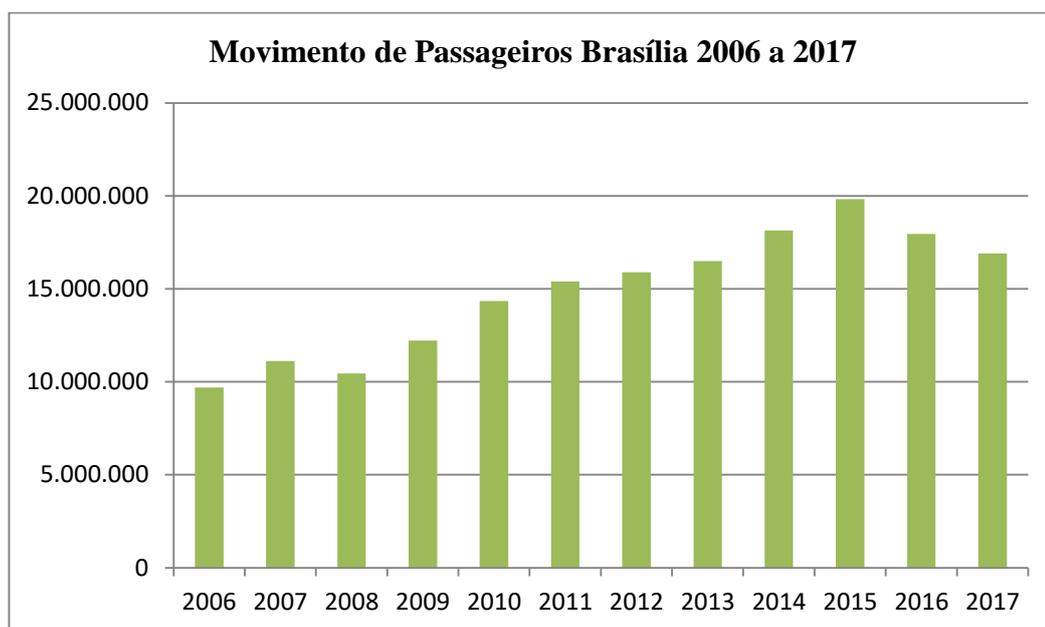


Figura 15: Movimento de passageiros no aeroporto de Brasília entre 2006 a 2017

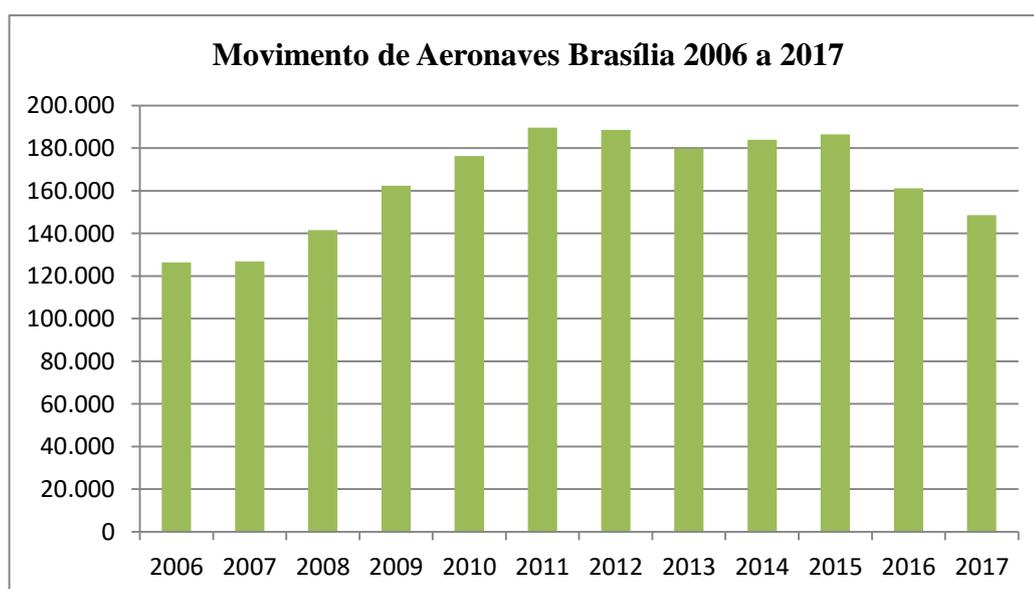


Figura 16: Movimento de aeronaves no aeroporto de Brasília entre 2006 a 2017

Considerando os quinze maiores aeroportos do país em números de movimento de passageiros, o crescimento médio de 2006 até 2017, foi de 171,73%. Destaque para o aeroporto internacional de Viracopos, em Campinas/SP, que apresentou taxa de crescimento de 210% entre os anos de 2008 e 2009 e a marca de 1.029,5% ao longo destes onze anos (Figura 17). A quantidade de passageiros que embarcou, desembarcou ou realizou conexão neste aeroporto passou de 826.246 em 2006 para 9.332.631 em 2017. O aumento do movimento de aeronaves neste aeroporto também foi expressivo. Saltou de mais de 25 mil, em 2006, para quase 109 mil em 2017. Crescimento de 332,7% (Figura 18).

O crescimento exponencial do movimento em Campinas (Figura 17 e 18) é explicado pelo início das operações da AZUL Linhas Aéreas em 2008 que utiliza o aeroporto como base de operações e HUB (aeroporto com grande concentração de voos da empresa) para voos nacionais e internacionais.

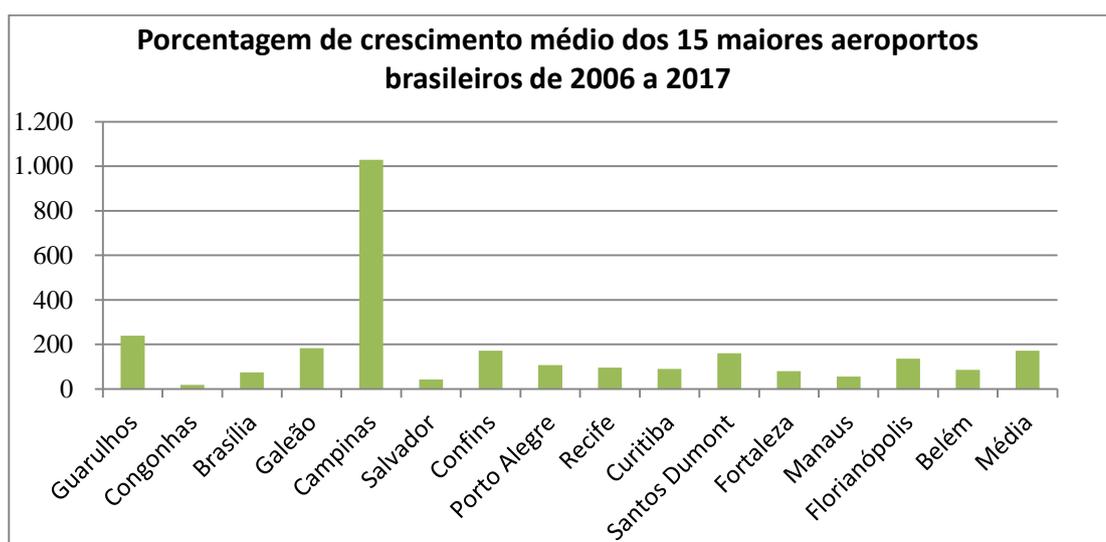


Figura 17: Porcentagem de crescimento médio dos 15 maiores aeroportos brasileiros de 2006 a 2017

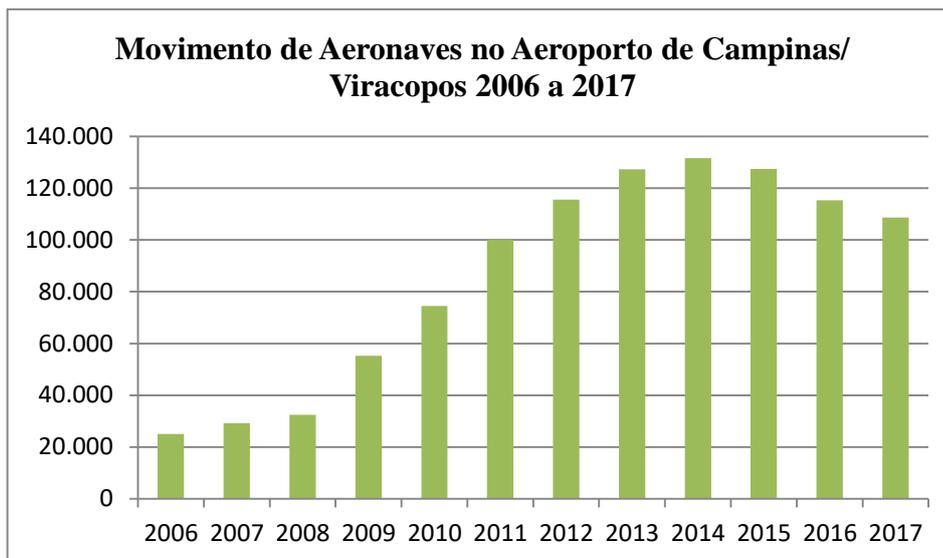


Figura 18: Movimento de Aeronaves no Aeroporto de Campinas 2006 a 2017

Diante deste cenário é possível verificar o incremento do movimento de aeronaves e passageiros nos aeroportos brasileiros e por consequência no espaço aéreo. Assim, é necessário que a aviação civil incorpore tecnologias que permitam atender a essa demanda crescente mantendo/melhorando a qualidade do serviço e os níveis de segurança. A navegação baseada em performance representa esta evolução tecnológica quando comparada com a navegação aérea convencional.

5 COMPARAÇÃO ENTRE ROTAS DE NAVEGAÇÃO ÁEREA BASEADA EM PERFORMANCE (PBN) E ROTAS CONVENCIONAIS ATRAVÉS DE DADOS MULTITEMPORAIS

A literatura sobre a Navegação Baseada em Performance (PBN) cita os benefícios deste sistema de navegação aérea, porém poucas vezes são demonstrados por meio de números ou simulações. Deste modo, neste capítulo foram elaborados mapas contendo trajetórias de voo em rotas convencionais e rotas PBN na sua concepção ideal - segmento reto entre dois aeroportos. As rotas convencionais foram geradas baseadas nas aerovias publicadas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2018b), órgão responsável pela gestão do espaço aéreo brasileiro, dentro de um ambiente SIG. O SIG permite novas abordagens e representa um grande ganho quando aplicado na aviação (ANTUNES, 2008).

Após a medição do tamanho do segmento referente à rota PBN, foi calculada a emissão de CO₂ por passageiro e consumo de combustível na rota considerada a partir da metodologia de cálculo da ICAO para ser usada em programas de compensação de carbono (2017a). Por meio desta metodologia é possível estimar o consumo de combustível e a emissão de CO₂ por passageiro em uma rota de voo considerando os aeroportos de origem e destino, a quantidade de voos regulares realizados em rota direta por companhias aéreas e os modelos das aeronaves usadas, além do total de passageiros e a relação de carga por passageiro.

O sistema calcula o consumo de combustível ponderando a frequência de decolagens dos modelos de aeronaves. O consumo então é dividido pela média de assentos da classe econômica das aeronaves que operam nesta rota e se obtém o consumo de combustível, em Kg, por passageiro. Ao final, multiplica-se por um índice e chega-se à emissão de CO₂ por passageiro na rota considerada. (ICAO, 2017a).

As comparações também levam em consideração, ainda, a movimentação, localização geográfica e acessibilidade. Deste modo, foram selecionadas quatro rotas para simulação e análise comparativa. As rotas PBN ideais foram selecionadas considerando a distância direta entre os aeroportos envolvidos. As rotas convencionais foram criadas através da inserção das coordenadas geográficas dos fixos (pontos de notificação) das aerovias e estas foram obtidas em Publicações Aeronáuticas Brasil (AIP-BRASIL) (DECEA, 2018b).

Os mapas foram elaborados a partir das coordenadas geográficas de todos os pontos das rotas convencionais selecionadas. A partir desses dados, foram calculadas as distâncias percorridas pela aeronave em aerovias convencionais nas 4 rotas selecionadas. Para o cálculo da distância percorrida em caso de navegação com utilização da tecnologia PBN, foram considerados apenas o ponto inicial e final das rotas (aeroportos).

Através da diferença de distância gerada entre as rotas PBN ideal e convencional, foram feitas análises da quantidade de voos que seriam possíveis de serem realizados a mais no mesmo período.

Por meio da multiplicação da diferença da distância pela quantidade de voos realizados no período de análise, obteve-se a quantidade de milhas voadas a mais em uma navegação aérea convencional quando comparada à navegação PBN.

Dividiu-se esta quantidade de milhas percorridas a mais pela quantidade de milhas em uma rota PBN e chegou-se a quantidade de voos a mais que poderiam ser realizados. Após, cada voo foi inserido isoladamente na metodologia de cálculo da ICAO e os resultados de consumo de combustível e emissão de CO₂ multiplicados pela quantidade de voos. Finalmente, obteve-se assim, a quantidade de combustível consumida e a emissão de Dióxido de Carbono emitida a mais pela quantidade de milhas voadas a mais pela navegação convencional (ICAO, 2017a).

De forma introdutória, sem realizar comparações entre rotas de navegação PBN e convencionais e apenas demonstrando a metodologia para o cálculo de consumo de combustível e emissão de CO₂, os resultados mostram que quando se voa de Campinas para João Pessoa em uma rota PBN, a distância entre os aeroportos é de 1.181 milhas náuticas (Nm) ou 2.187 quilômetros (Km). Ao percorrê-la em rota convencional por aerovia, a distância é de 1200 Nm (aumento de 19 Nm, ou 35,2 Km). Aparentemente, é um número pouco expressivo. Todavia é relevante quando se leva em consideração a quantidade de operações realizadas ao longo de um ano. A figura 19 apresenta a espacialização das rotas PBN e convencionais. A Tabela 2 mostra o consumo de 8007,1 Kg de combustível (10.136 litros) e a emissão de 187,2 Kg de CO₂ por passageiro para um voo PBN realizado entre as duas cidades. Como não existem voos diretos entre Campinas e João Pessoa, não foi possível fazer uma comparação temporal dos dados.

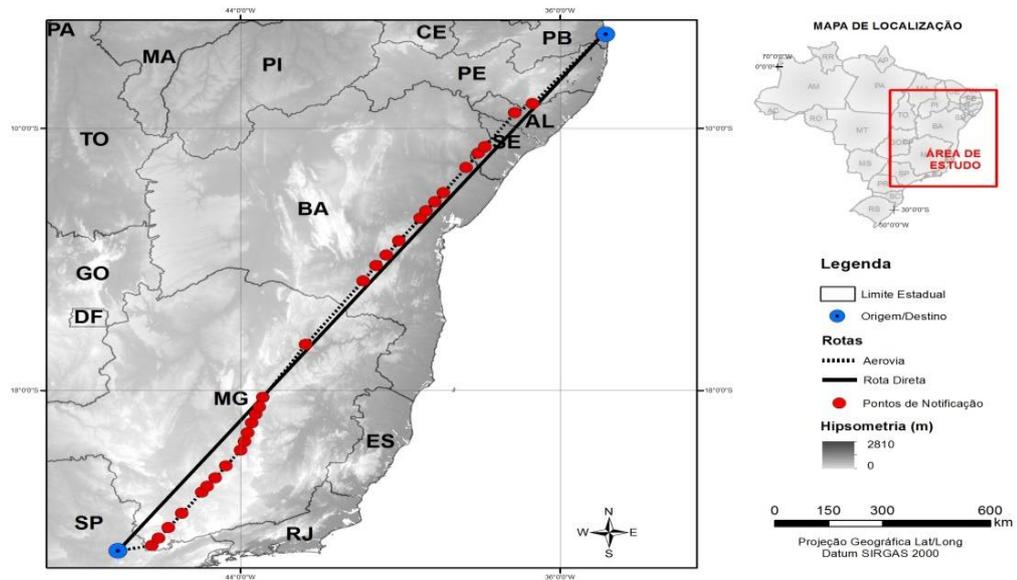


Figura 19: Rota Convencional e PBN entre Campinas (SBKP) e João Pessoa (SBJP)

Tabela 2: Consumo de Combustível e Emissão de CO₂ entre Campinas e João Pessoa

Origem	Destino	Quantidade de Passageiros	Consumo de Combustível (Kg/ Litros)	Total de CO ₂ Emitido (Kg)	Total de CO ₂ Emitido por Passageiro (Kg)
Campinas (SBKP)	João Pessoa (SBJP)	140	8.007,1 Kg/ 10.136 l	26.208 Kg	187,2

Segundo a ANAC (2017b), em 2016 foram realizados 1.708 voos entre as cidades de Brasília e Manaus por meio de empresas de transporte aéreo regular. Levando-se em conta que a distância entre as duas capitais por meio de uma rota PBN é de 1.050 Nm (1944 Km) e a rota convencional é de 1.074 Nm (1989 Km), tem-se uma diferença de 24 Nm (44,5 Km). Essa quantidade de milhas náuticas de diferença, representa o total de 40.992 Nm (75.917 Km), se a multiplicarmos pelo número de voos ocorridos no ano de 2016 que foi de 1708. Assim, a rota Brasília – Manaus poderia ser realizada mais 39 vezes apenas com a diferença entre a rota PBN e a rota convencional. A rota está representada na figura 20.

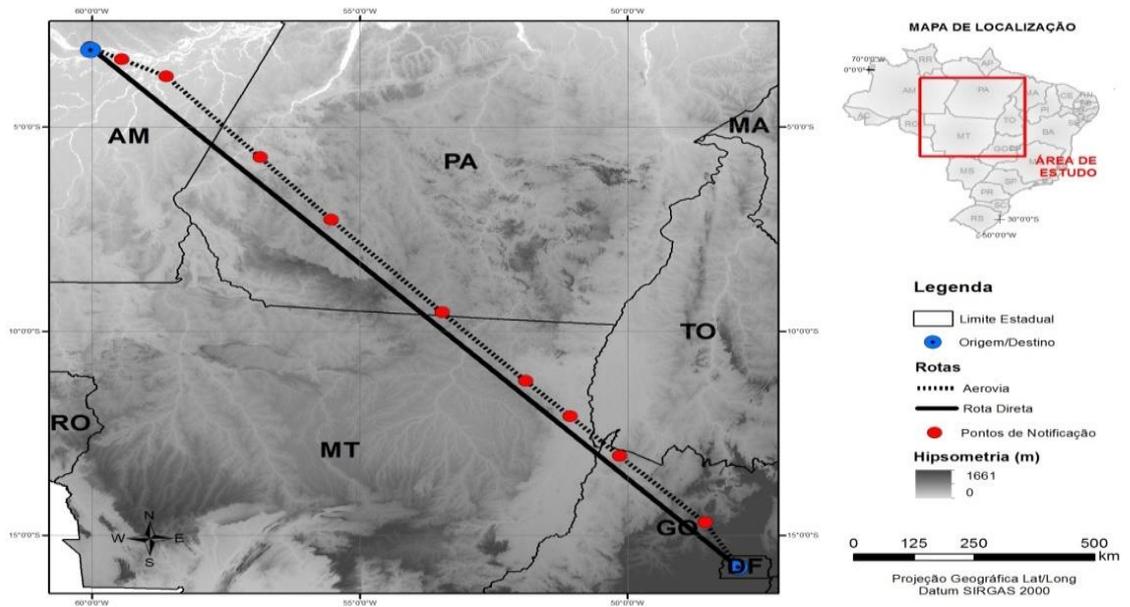


Figura 20: Rota Convencional e PBN entre Brasília (SBBR) e Manaus (SBEG)

Desta forma, conforme metodologia da ICAO de cálculo de consumo de consumo de combustível e emissão de CO₂ e representada na figura 22, um voo entre Brasília e Manaus tem um consumo médio de combustível de 8.985,3 Kgf ou 11.231 litros se a densidade estimada do querosene de aviação for de 0,79 Kgf/litro. Considerando os trinta e nove trajetos, diferença criada pela Rota PBN e pela convencional, temos um consumo adicional de combustível de 350.426 Kgf ou 438.033 litros.

Ainda, ocorre a emissão de 150,4 Kgf de CO₂ por passageiro em cada trajeto de voo com origem em Brasília e destino Manaus. Como a ICAO considera a taxa de ocupação das aeronaves de 82,64%, em voos dentro da América do Sul (ICAO, 2017b) uma aeronave com 170 lugares seria ocupada por aproximadamente 140 passageiros e em cada voo de Brasília a Manaus ocorre a emissão de 21.054,2 Kg de CO₂ (Tabela 3). Assim, ao final de 39 voos a diminuição de emissão de CO₂ poderia ser de 821.113,2 Kg a menos em rotas diretas.

Tabela 3: Consumo de Combustível e Emissão de CO₂ entre Brasília e Manaus

Origem	Destino	Quantidade de Passageiros	Consumo de Combustível (Kg/ Litros)	Total de CO ₂ Emitido (Kg)	Total de CO ₂ Emitido por Passageiro (Kg)
Manaus (SBEG)	Brasília (SBBR)	140	8.985,3 Kgf/ 11.231 l	21.056	150,4

Os voos que ligam os aeroportos de Congonhas, em São Paulo, e o aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro, são conhecidos como ponte aérea. Nos últimos doze anos, as aeronaves de transporte aéreo regular efetuaram 245.208 voos entre estes aeroportos de acordo com os registros da ANAC (2018). Os voos foram distribuídos conforme a Figura 21.

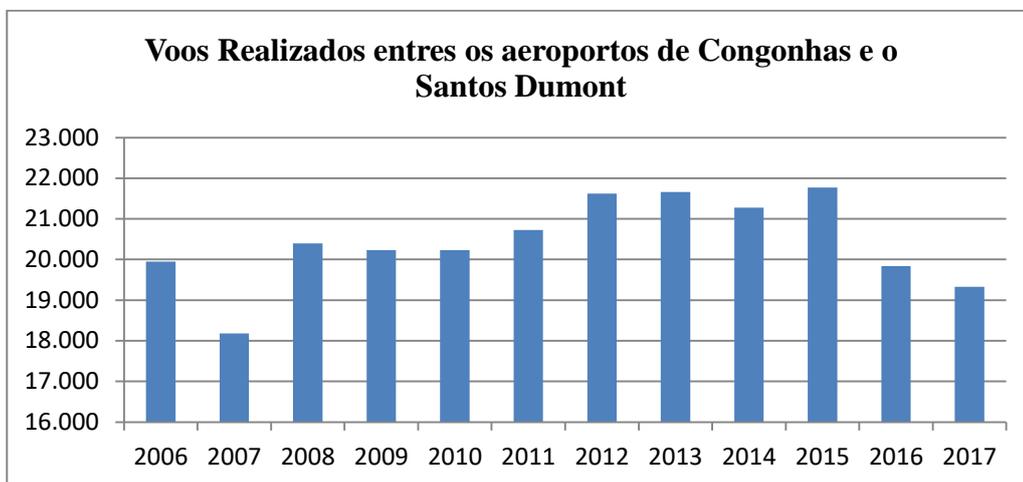


Figura 21: Número de voos realizados entre Congonhas (SBSP) e Santos Dumont (SBRJ)

A rota PBN entre São Paulo e Congonhas é de 197 Nm (365 km). A distância da rota convencional, considerando-se a decolagem da pista 35 esquerda de Congonhas, a realização da saída padrão por instrumentos, o voo em rota, o procedimento de chegada e um procedimento de aproximação e pouso para a pista 02 da direita no Santos Dumont, é de 208 Nm (385 Km). Novamente se observa que a diferença de 11 Nm (20,3 Km) não parece ser significativa. Todavia, poderia atingir 2.697.228 Nm (4.995.377 Km) nestes doze anos se considerássemos que, a cada um dos 245.208 voos, fossem percorridas exatamente estas 11 Milhas Náuticas a mais. As rotas PBN e convencional estão representadas na figura 22.

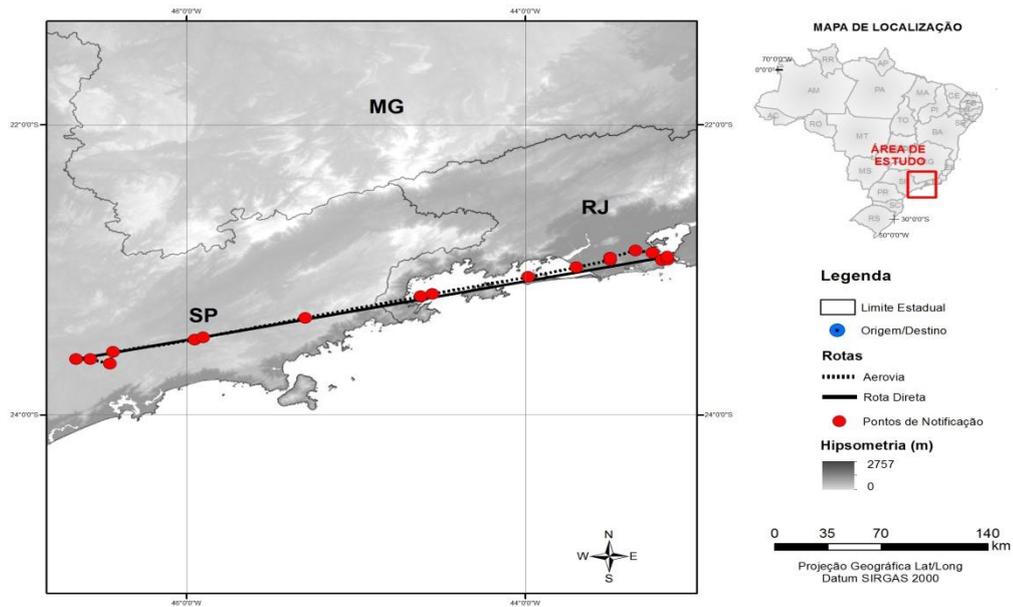


Figura 22: Rota Convencional e PBN entre Congonhas (SBSP) e o Santos Dumont (SBRJ)

Assim, a quantidade de 2.697.228 Nm representa a realização de 13.692 voos nestes doze anos entre Congonhas e o aeroporto Santos Dumont. De acordo com a metodologia da ICAO, para cada voo nesta rota são gastos 2.852,9 Kg de combustível, ou, aproximadamente 3.237 litros. E cada passageiro transportado gera a emissão de 55,9 Kg de CO₂ conforme a Tabela 4 Ainda, são emitidos 7.819,7 Kg de dióxido de carbono se uma aeronave estiver ocupada por 140 passageiros.

Ao longo do período considerado, os 13.692 voos que poderiam ser realizados apenas com diferença das onze milhas, representam um gasto de combustível de 39.061.385 Kg ou 49.444.791 litros de combustível e a emissão de 107.067.332 Kg de CO₂ de acordo com a ICAO. Ou seja, em rotas diretas este montante de combustível poderia ser economizado e esta quantidade de dióxido de carbono poderia não ser emitida à atmosfera.

Tabela 4: Consumo de combustível e emissão de CO₂ entre Congonhas e Santos Dumont

Origem	Destino	Quantidade de Passageiros	Consumo de Combustível (Kg/ Litros)	Total de CO ₂ Emitido (Kg)	Total de CO ₂ Emitido por Passageiro (Kg)
São Paulo (SBSP)	Rio de Janeiro (SBRJ)	140	2.852,9 Kg/ 3.237 l	7.826 Kg	55,9 Kg

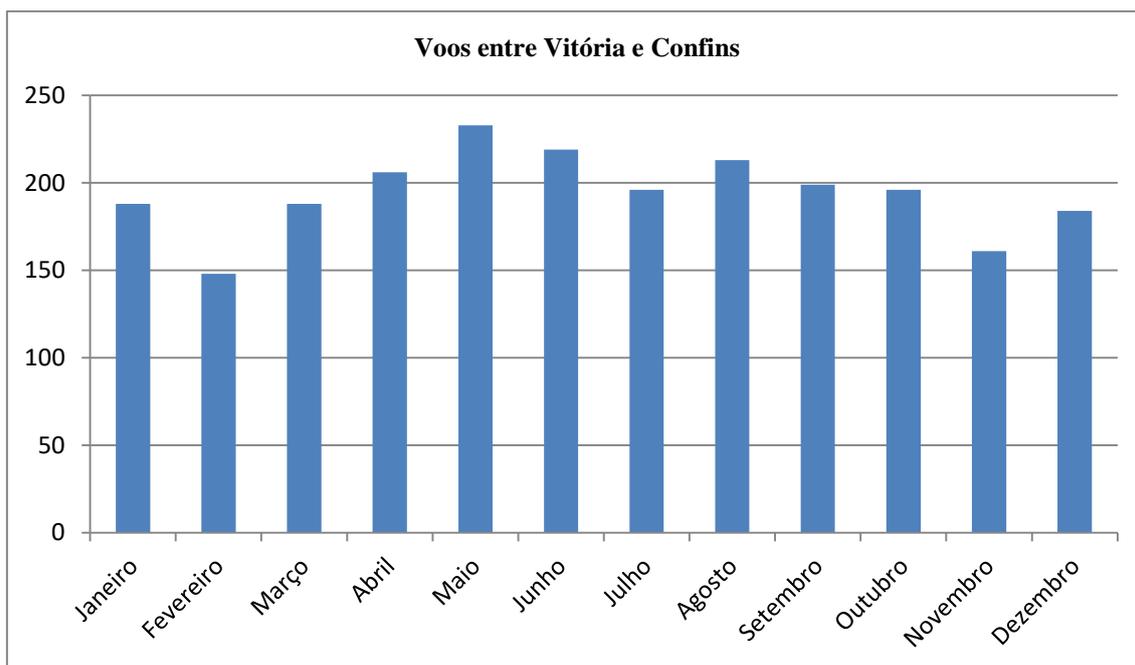


Figura 24: Voos realizados por empresas aéreas de transporte público regular entre Vitória (SBVT) e Confins (SBCF) 2017

Todo voo realizado entre as capitais dos estados do Espírito Santo e Minas Gerais, de acordo com a metodologia da ICAO, gera o consumo de 2.447,6 kg de querosene, ou 3.098 litros de combustível (densidade de 0,79 Kg/litro) e cada passageiro emite total de 62,7 Kg de CO₂ por voo (Tabela 5).

Se levarmos em conta a taxa de ocupação de 82,67% das aeronaves nos voos dentro da América do Sul (ICAO, 2017b) e um modelo de avião com 170 lugares, 140 seriam ocupados. Os 140 passageiros, somados, emitiriam o total de 8.779,7 kg de CO₂.

Assim, pela diferença de milhas criadas entre a rota convencional e PBN ideal, que representam a geração de 154 voos a mais, tem-se o consumo adicional de 376.930 Kg de combustível ou 477.127 litros e a emissão de 1.351.073,8 Kg de dióxido de carbono.

Tabela 5: Consumo de combustível e emissão de CO₂ entre Vitória e Confins

Origem	Destino	Quantidade de Passageiros	Consumo de Combustível (Kg/ Litros)	Total de CO ₂ Emitido (Kg)	Total de CO ₂ Emitido por Passageiro (Kg)
Vitória (SBVT)	Confins (SBCF)	140	2.447,6 Kg/ 3.098 l	8.778	62,7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A navegação aérea baseada em performance possibilita vários benefícios para a aviação quando comparada com a navegação convencional. Enquanto esta requer o sobrevoo de auxílios rádios instalados na superfície terrestre para a orientação dos pilotos em decolagens, voos em rota, aproximações e pousos, a PBN permite a realização de voos diretos, especialmente pelo uso dos sistemas de Navegação Global por Satélites e pelos sistemas de acréscimo de sinal. Remove, assim, algumas restrições impostas aos voos em rota e procedimentos de aproximação e pouso convencionais (SANTOS; MÜLLER, 2008). Com voos diretos, as distâncias são reduzidas, o tempo de voo entre aeroportos diminui e se tem economia de combustível e redução da emissão de dióxido de carbono na atmosfera.

Diante dos resultados apresentados, comprova-se que a redução das distâncias percorridas entre os aeroportos, por meio da navegação baseada em performance, possibilita a redução do consumo de combustível e emissão de dióxido de carbono. Com o uso da PBN, mesmo que novos voos sejam criados visando adequação da oferta à demanda de passageiros para os próximos anos, é possível que, proporcionalmente, ocorra redução da emissão de CO₂ diminuição do consumo de combustível.

Por meio da PBN, também são construídas trajetórias ótimas de voo que reduzem a dispersão e proporcionam fluxos de tráfego mais previsíveis aos órgãos de controle de tráfego aéreo, além do acesso aos aeroportos em condições mais restritivas de relevo e de teto/visibilidade.

Assim, PBN representa ganhos significativos para a indústria de aviação e está em expansão ao redor do mundo. A ICAO recomenda que os estados executem ações educativas – como simpósios, workshops, elaboração de materiais de instrução, além da realização de cursos presenciais e a distância – de forma a assegurar um melhor entendimento da PBN. Em contrapartida, a ICAO fornecerá assistência para assegurar a implantação harmonizada e integrada das tecnologias e ferramentas de suporte da PBN visando atingir os objetivos de otimização de desempenho do espaço aéreo (ICAO, 2013).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Anuário do Transporte Aéreo 2016**. Volume Único. Brasília, 2017.

_____. Agência Nacional de Aviação Civil. **Anuário do Transporte Aéreo 2015**. Volume Único. Brasília, 2016.

_____. 2017a. **IS N° 91-001: Aprovação Operacional de Navegação Baseada em Desempenho**. 2017a. Brasília, 24 mai 2017.

_____. 2017b. **Horário de Transportes (HOTRAN) 2016**.

_____. 2018. **Horário de Transportes (HOTRAN) 2017**.

ANTUNES, Maria Jorge Ferreira Antunes. **Plano de Voo Apoiado em Sistemas de Informação Geográfica. 2008**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica). Universidade de Lisboa, Lisboa, 2008.

BASÍLIO, G. B. et al. **Controle de Tráfego Aéreo: Panorama Atual e Perspectivas**. Conexão SIPAER, v.2, n.3, ago.2011.

BLAKEY, M.C. **Letter to Dr. R. Kobeh**. Washington, D.C.: FAA, 10 Sep 2007.

BLANCH, J.; WALTER, T.; ENGE P. **Satellite Navigation for Aviation in 2025**. Proceedings of the IEEE, v.100, n. special centennial issue, p.1821-1830, 13 mai 2012.

CARVALHO, M.C.M. **Construindo o saber: metodologia científica: fundamentos e técnicas**. Campinas: Papirus. 1995.

CERVO, A.L.; BERVIAN, P.A. **Metodologia científica**. 4ed. São Paulo: Afiliado. 1996.

CHOY, S. et. al. **GNSS satellite-based augmentation systems for Australia**. GPS Solutions, v.21, iss.3, p.835-848, 2016.

CHUJO, A.M.; **Tecnologias de Navegação Aérea por GNSS e DGNSS para operação CNS/ATM: Aplicações para o Brasil**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005.

COSCAP. Cooperative Development of Operational Safety & Continuing Airworthiness Programme. **Performance Based Navigation Operational Approval Handbook**. 2010.

DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. 2011. **DCA 351-2: Conceção Operacional ATM Nacional**, Brasília, dez. 2011.

_____. **Cooperação entre Brasil e Estados Unidos fomenta pesquisa de GBAS para baixas latitudes.** 2017. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=cooperacao-entre-brasil-e-estados-unidos-fomenta-pesquisa-de-gbas-para-baixas-laticudes> Acesso em 10 nov 2017.

_____. **AIC-N31: Reestruturação da Circulação Aérea das Áreas de Controle Terminal (TMA) de Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre e do ACC-CW com Aplicação do Conceito de Navegação Baseada em Performance na Região Sul (PBN-SUL) e Entrada no Setor Oeste da TMA São Paulo.** 2017a. Rio de Janeiro, 02 out 2017.

_____. **AIC-N41/17. Implementação Operacional do Conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN) no Espaço Aéreo Brasileiro.** 2018. Rio de Janeiro, 01 mar 2018.

_____. **Publicação de Informações Aeronáuticas.** 2018b. Rio de Janeiro, 01 mar 2018.

DIEHL, A. A.; **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas.** São Paulo: Pertince Hall, 2004.

ESTADOS UNIDOS. United States Air Force. **Navstar GPS Space Segment/User Navigation User Segment L5 interfaces.** El Segundo, CA,:USAF, 31 Jan 2005.

_____. Federal Aviation Administration. **Global Positioning System (GPS) Standart Positioning Service (SPS) performance analysis report.** Atlantic City, NJ.: FAA, Jan 2008.

_____. Department of Defense, Department of Homeland Security, and Department of Transportation. **2014 Federal RadioNavigation Plan.** Springfield, VA.: NTIS, 2014.

ENGE, E; WALTER, T; ELDREDGE, L. **Aviation Benefits from Satellite Navigation.** New Space, v.3, n.1, p.19-35, 2015.

ESA. European Space Agency. **Galileo: A Constellation of Navigation Satellites.** Disponível em: <http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/Galileo_a_constellation_of_navigation_satellites> Acesso em 16 nov 2017.

FILIP, A.; BEUGIN, M.; MOCEK, H. **Interpretation of the Galileo Safety-of-Life Service by Means of Railway RAMS Technology.** Transactions on Transport Sciences; v.1, n.2, p.61-68, 2008.

GALOTTI, V.P.J. **The Future Air Navigation System (FANS).** University Press, Cambridge, UK, 1997.

HEGARTY, C.J.; CHATRE. E. **Evolution of the Global Navigation Satellite System (GNSS).** IEEE, v.96, n.12, p.1902-1917, dez 2008.

INFRAERO. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeronáutica. **Anuário Estatístico Operacional 2017.** Brasília, 2018.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Air Navigation Report.** Montreal: ICAO, 2017.

- _____. **Air Navigation Report**. Montreal: ICAO, 2016.
- _____. **Annex 6 to the Conventional of International Civil Aviation, Operation of Aircraft (Part I – International Commercial Air Transport)**. 10.ed, Montreal: ICAO, 2016a.
- _____. **Annex 10 to the Conventional of International Civil Aviation, Aeronautical Telecommunications (Radio Navigation Aids)**. 6.ed, Montreal: ICAO, 2006.
- _____. **ICAO Carbon Emissions Metodology Calculator Metodology**. 2017a. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>> Acesso em 10 mai 2017.
- _____. **Global Air Traffic Management Operational Concept (Doc 9854 AN/458)**. 1. ed. Montreal: ICAO, 2005.
- _____. **Global Navigation Satellite System (Doc 9849 AN/963457)**. 2.ed. Montreal: ICAO, 2012
- _____. **Performance-Based Navigation (PBN) Manual (Doc 9613 AN/937)**. 4.ed. Montreal: ICAO, 2013a.
- _____. **ICAO PBN For Presentation**. 2016. Disponível em: <<http://www.icao.int/PBN>> Acesso em 17 out 2017.
- KASIM, K.O. **Assessing the Benefits of Performance-Based Navigation Procedures**. Journal of Aviation Technology and Engineering, v.7, iss.1, 2017.
- KAYTON, M; FRIED, W.R. **Avionics navigation systems**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., p. 116-138, 1997.
- MCPHERSON, K.; ELROD, B. **Ground Based Regional Augmentation System (GRAS) Development in Australia**. GNSS, Edimburgo, mai.2000.
- MILLER, SAM. **Contribution of Flight Systems to Performance-Based Navigation**. Boeing, Aero Quartely, 2009.
- MURPHY, T.; IMRICH, T. **Implementation and Operational Use of Ground-Based Augmentation Systems (GBASs)—A Component of the Future Air Traffic Management System**. Proceedings of the IEEE, v. 96, n. 12, p.1936-1957, dez. 2008.
- LEOPARDI, M.T.; et al. **Metodologia de Pesquisa em Saúde**. Santa Maria. Palotti. 2001.
- LEITE, C. M. C.; BARBATO, S. **Reflexões sobre a Construção do Conceito de Lugar na Escola Contemporânea**. Espaço & Geografia, v. 14, n.2, p. 225-255, 2011.
- MONTES, J.; NEY, L. **Desenvolvimento de um Pseudo-satélite para o Sistema GLONASS**. 2006. Tese. (Mestrado em Ciências). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos –SP, 2006.

MURPHY, T.; HARRIS, M.; BRAASCH. **Availability of GPS/INS integration methods.** Proc. Inst. Navig. ION GPS 2001, Salt Lake City, UT, Sep. 2001.

PAMPLONA, D.A. **Mensuração dos benefícios pela introdução dos Procedimentos de Navegação Baseados em Performance.** 2014. Tese (Mestrado em Infraestrutura Aeronáutica/ Transporte Aéreo e Aeroportos). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos –SP, 2014.

PAMPLONA, D. A; FORTES, J. L. C; ALVES, C.J.P. Análise do Conceito de Espaço Aéreo baseado em performance (PBN). **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.7, n.4, dez, 2015.

PAVLOVA, S.; ZADOROZHNIYA, A. **Analysis of Free Route Airspace and Performance Based Navigation Implementation in the European Air Navigation System.** National Aviation University, v.61, n.4, p.28-35, 2014.

RIBEIRO, E.F; **A Formação do Piloto de Linha Aérea: Caso Varig.** Tese (Doutorado em História). Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RONDON, M.H.D.F.; CAPANEMA, C.F.; FONTES, R.S.F. **A interação homem-máquina nas aeronaves tecnologicamente avançadas: a transformação de um paradigma.** Aviation in Focus, v.5, n.2, p.50-30, 2014.

RUSSIA. **Information and Analysis Center for Positioning, Navigation, and Timing (IAC PNT).** Disponível em: <<https://www.glonass-iac.ru/en/AboutIAC/index.php>> Acesso em: 10 mar 2018

SANTOS, F.A.B.D; MÜLLER, C. **Sistemas de Informações Geográficas no Apoio ao Gerenciamento de Obstáculos à Superfície de Segmento Visual.** Boletim de Ciências Geodésicas, v.20, n.3, p.504-525, 2008.

SANTOS, M.; **Metamorfoses do Espaço Habitado, Fundamentos Teórico e Metodológico da Geografia.** Hucitec, São Paulo, 1988.

SABATINI, R.; MOORE T.; RAMASAMY, S. **Global navigation satellite systems performance analysis and augmentation strategies in aviation.** Progress in Aerospace Sciences, 2017.

SIQUEIRA, C.A. **Navegação Aérea Segundo o Conceito CNS/ATM: Custos e Benefícios.** 2005. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005.

SVITAK, A. Aviation Week & Space Technology, vol. 176, iss. 4, p. 43-44, 2014.

SWAMY, K.C.T. **Global Navigation Satellite System and Augmentation.** Resonance, vol. 2, p.1155-1174, 2017.

TRIVIÑOS, A.N.S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação.** São Paulo: Atlas, 1987.

TONG, H.; ZHANG, H.; OU, G. **GNSS RAIM Availability Assessment for Worldwide Precision Approaches**. 2011. International Workshop on Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping, Xiamen, 2011, p.1-4.

VAZ, J.A; PISSARDINI, R.S; FONSECA JUNIOR, E.S. **Comparação da cobertura e acurácia entre os sistemas GLONASS e GPS obtidas dos dados de observação de uma estação da rede brasileira de monitoramento contínuo**. Revista Brasileira de Geografia, v.63, n.3, p.529-539.

APÊNDICES

Apêndice A/ Movimento de Passageiros nos Aeroportos

Aeroporto	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Guarulhos	15.759.181	18.795.596	20.400.304	21.727.649	26.849.185	30.003.428
Congonhas	18.459.191	15.265.433	13.672.301	13.699.657	15.499.462	16.756.452
Brasília	9.699.911	11.119.872	10.443.393	12.213.825	14.347.061	15.398.737
Galeão	8.856.527	10.352.616	10.754.689	11.828.656	12.337.944	14.952.830
S.Dumont	3.553.177	3.214.415	3.628.766	5.099.643	7.822.848	8.515.021
Salvador	5.425.747	5.932.461	6.042.307	7.052.720	7.696.307	8.394.900
Confins	3.727.501	4.316.411	4.826.193	5.617.171	7.261.064	9.534.987
P. Alegre	3.846.508	4.444.748	4.931.464	5.607.703	6.676.216	7.834.312
Recife	3.953.845	4.188.081	4.679.457	5.250.565	5.958.982	6.383.369
Curitiba	3.532.879	3.907.275	4.281.354	4.853.733	5.774.615	6.969.484
Campinas	826.246	1.006.059	1.083.878	3.364.404	5.430.066	7.568.384
Fortaleza	3.282.979	3.614.439	3.465.791	4.211.651	5.072.721	5.647.104
Manaus	1.689.817	2.063.872	2.021.668	2.300.022	2.688.623	3.019.426
Florianópolis	1.630.141	1.948.010	2.080.342	2.108.383	2.672.250	3.122.035
Vitória	1.661.192	1.894.540	1.988.447	2.342.283	2.644.729	3.182.394
Belém	1.776.008	2.119.552	2.153.727	2.203.653	2.605.467	2.996.328
Natal	1.391.956	1.578.165	1.643.369	1.894.113	2.415.833	2.586.220
Goiânia	1.376.383	1.546.476	1.554.000	1.772.424	2.348.648	2.802.002
Cuiabá	931.431	1.254.825	1.396.164	1.671.704	2.134.267	2.551.120
Maceió	870.993	937.305	957.744	1.117.250	1.431.781	1.549.228
São Luiz	740.916	900.357	870.784	984.756	1.379.146	1.843.384
C. Grande	718.356	758.983	835.034	1.028.643	1.208.765	1.515.540
F. do Iguaçu	731.312	721.385	766.444	807.540	1.155.615	1.691.392
Aracaju	589.719	691.640	669.777	727.679	940.389	1.093.143
J. Pessoa	415.648	500.547	448.444	598.015	926.043	1.142.183
Navegantes	466.772	419.113	395.743	593.900	852.487	1.167.898
Teresina	380.440	484.492	466.034	557.798	797.979	1.075.655
Uberlândia	483.978	493.920	500.652	570.900	765.395	907.288
B. Horizonte	800.940	759.824	561.189	598.360	757.685	793.305
P. Velho	355.243	391.179	426.470	561.331	716.905	983.812
Londrina	415.648	500.547	448.444	598.015	732.433	961.876
Macapá	480.377	526.570	493.999	469.836	542.053	560.317
Rio Branco	270.665	313.987	302.551	323.114	355.916	393.811
Palmas	228.320	232.885	259.362	298.484	389.217	503.408
Boa Vista	150.996	211.319	205.180	190.469	242.409	341.885

Aeroporto	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Guarulhos	32.777.330	35.962.000	39.537.000	38.985.000	36.596.326	37.816.000
Congonhas	16.775.770	17.119.530	18.134.768	19.279.644	20.816.957	21.859.453
Brasília	15.891.530	16.489.987	18.146.405	19.821.796	17.947.153	16.912.680
Galeão	17.495.737	17.115.368	17.261.873	16.942.229	16.103.011	16.245.094
S.Dumont	9.002.863	9.204.603	9.741.219	9.618.197	9.605.905	9.247.185
Salvador	8.811.540	8.589.663	9.152.159	9.047.403	7.526.358	7.735.685
Confins	10.398.296	10.301.288	10.842.000	11.304.284	9.638.798	10.164.077
P. Alegre	8.261.355	7.993.164	8.447.307	8.354.961	7.648.743	8.012.114
Recife	6.433.410	6.840.276	7.157.805	6.700.696	6.811.676	7.776.881
Curitiba	6.828.334	6.742.133	7.377.205	7.235.634	6.385.838	6.722.058
Campinas	8.858.380	9.295.349	9.846.000	10.324.658	9.325.252	9.332.631
Fortaleza	5.964.308	5.952.629	6.500.649	6.501.621	5.706.489	5.935.288
Manaus	3.131.150	3.077.077	3.358.041	3.258.157	2.651.452	2.645.205
Florianópolis	3.395.256	3.872.877	3.632.940	3.693.486	3.536.435	3.843.328
Vitória	3.642.842	3.450.736	3.521.431	3.583.875	3.120.166	3.021.949
Belém	3.342.771	3.475.611	3.886.914	3.714.761	3.282.513	3.311.817
Natal	2.660.864	2.408.206	2.483.704	2.584.355	2.316.349	2.403.135
Goiânia	3.076.858	3.000.592	3.363.388	3.312.290	3.016.798	3.088.274
Cuiabá	2.761.588	2.981.025	3.300.489	3.308.289	2.840.559	2.882.450
Maceió	1.719.979	1.943.437	1.891.444	1.982.393	1.995.069	2.067.439
São Luiz	1.991.099	1.815.909	1.703.007	1.701.015	1.520.847	1.601.836
C. Grande	1.655.073	1.592.471	1.594.801	1.555.602	1.459.007	1.536.051
F. do Iguazu	1.741.526	1.677.460	1.880.565	2.056.050	1.851.116	2.177.725
Aracaju	1.373.401	1.343.899	1.377.234	1.280.236	1.225.591	1.225.109
J. Pessoa	1.252.559	1.230.230	1.307.730	1.463.315	1.418.380	1.284.727
Navegantes	1.277.486	1.203.561	1.351.154	1.483.308	1.471.037	1.588.921
Teresina	1.044.865	1.091.242	1.172.138	1.209.559	1.085.974	1.104.376
Uberlândia	1.011.490	1.136.908	1.137.727	1.168.978	1.050.330	1.102.569
B. Horizonte	774.881	989.599	945.434	712.553	300.061	234.675
P. Velho	1.050.682	905.958	892.760	933.666	840.026	794.109
Londrina	1.098.848	1.051.157	1.131.994	1.057.163	920.782	880.429
Macapá	573.560	663.524	748.480	667.230	568.873	576.257
Rio Branco	384.877	378.411	391.038	387.071	354.249	345.079
Palmas	579.395	576.633	634.128	644.199	617.703	654.397
Boa Vista	336.530	362.902	366.622	347.592	291.163	283.699

Fonte: Compilação do autor a partir do registro de movimentos de aeronaves e passageiros da INFRAERO e empresas concessionárias

Apêndice B/ Movimento de Aeronaves nos Aeroportos

Aeroporto	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Guarulhos	154.948	187.960	194.184	209.636	250.493	270.600
Congonhas	230.995	205.564	186.694	193.308	204.943	209.280
Brasília	126.427	126.853	141.477	162.349	176.326	189.570
Galeão	100.895	119.892	130.597	119.287	122.945	143.245
S.Dumont	64.603	65.689	71.527	97.075	126.515	129.629
Salvador	91.414	90.989	95.804	102.211	114.946	125.980
Confins	45.437	51.226	59.541	70.122	84.851	108.130
P. Alegre	59.463	68.827	72.445	79.104	90.625	99.583
Recife	57.812	59.781	64.625	66.415	77.322	83.638
Curitiba	56.934	62.563	69.076	80.017	88.217	94.143
Campinas	25.107	29.226	32.399	55.261	74.472	99.982
Fortaleza	46.567	47.226	47.703	51.861	43.399	65.853
Manaus	33.785	44.303	44.823	45.852	52.505	56.298
Florianópolis	30.277	36.451	39.464	39.790	43.399	49.097
Vitória	33.098	39.778	41.936	49.807	53.360	57.293
Belém	36.850	40.124	39.922	39.824	45.302	51.749
Natal	18.755	20.772	20.246	23.015	28.623	30.315
Goiânia	42.610	43.136	46.564	52.584	64.678	70.128
Cuiabá	34.793	39.443	42.942	45.045	53.805	57.101
Maceió	18.370	17.988	16.668	15.038	22.594	20.226
São Luiz	21.201	19.994	19.310	19.284	23.643	27.924
C. Grande	21.629	22.964	25.075	28.152	31.382	30.991
F. do Iguaçu	10.059	10.410	10.878	11.918	15.886	20.365
Aracaju	17.659	18.968	17.631	14.915	18.850	20.701
J. Pessoa	6.318	7.976	7.277	7.831	10.743	13.332
Navegantes	9.245	8.806	11.705	12.124	16.094	21.662
Teresina	11.757	11.741	11.820	11.314	14.341	17.822
Uberlândia	18.424	19.368	20.660	23.898	26.909	27.301
B. Horizonte	47.602	52.812	57.776	58.288	66.650	65.854
P. Velho	11.887	10.927	11.230	14.098	17.809	21.815
Londrina	21.109	21.007	21.611	21.594	25.964	29.500
Macapá	12.944	12.821	13.613	12.059	13.653	12.752
Rio Branco	10.648	11.440	12.326	13.392	16.019	16.352
Palmas	13.320	10.192	12.104	11.603	17.161	17.534
Boa Vista	8.830	7.701	9.142	11.133	13.242	13.490

Aeroporto	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Guarulhos	273.884	284.184	304.586	295.030	267.746	263.326
Congonhas	213.419	209.555	205.407	213.833	213.043	217.918
Brasília	188.528	179.656	183.874	186.377	161.167	148.619
Galeão	154.318	143.245	140.471	132.792	124.471	120.138
S.Dumont	135.373	127.328	125.798	120.538	105.671	102.067
Salvador	121.587	107.977	107.255	97.139	79.484	76.642
Confins	120.149	109.257	108.295	113.527	99.422	99.659
P. Alegre	96.693	94.409	92.960	88.279	79.738	79.473
Recife	82.997	81.824	75.418	72.080	69.108	75.099
Curitiba	88.909	82.455	78.790	75.722	66.386	67.457
Campinas	115.548	127.252	131.523	127.392	115.276	108.635
Fortaleza	65.391	66.814	68.695	61.556	53.133	52.290
Manaus	57.575	55.141	54.862	48.433	37.951	37.030
Florianópolis	56.086	54.216	50.707	47.347	44.250	44.795
Vitória	63.777	58.504	60.144	58.760	46.737	43.120
Belém	54.836	54.008	55.218	51.639	40.421	37.760
Natal	28.108	25.020	24.930	22.625	18.553	18.835
Goiânia	71.030	61.847	65.678	65.019	59.142	59.879
Cuiabá	60.138	65.565	64.586	62.031	51.292	48.730
Maceió	20.094	23.583	20.478	19.542	19.748	17.954
São Luiz	30.358	27.975	25.821	23.470	18.800	19.695
C. Grande	30.250	25.539	24.843	22.825	19.466	18.792
F. do Iguazu	19.917	18.524	18.887	20.065	18.402	20.929
Aracaju	26.033	22.845	21.306	16.249	13.279	12.847
J. Pessoa	12.883	12.623	13.292	14.635	13.855	13.373
Navegantes	24.485	23.517	20.704	21.393	19.273	19.924
Teresina	16.570	16.799	18.340	18.193	15.856	14.848
Uberlândia	28.523	29.943	28.957	27.401	23.624	24.454
B. Horizonte	72.892	65.487	64.096	50.802	41.640	40.159
P. Velho	20.944	17.578	17.732	16.358	14.352	13.128
Londrina	34.508	30.808	27.749	26.149	24.371	22.250
Macapá	12.572	13.924	13.606	10.508	9.488	9.087
Rio Branco	12.749	10.504	9.876	7.046	6.283	6.520
Palmas	18.266	19.172	17.242	14.916	12.219	12.631
Boa Vista	12.344	6.589	6.451	8.816	5.972	4.982

Fonte: Compilação do autor a partir do registro de movimentos de aeronaves e passageiros da INFRAERO e empresas concessionárias de 2006 a 2017.

Apêndice C/ Voos entre os aeroportos de Brasília e Manaus (2016)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
2016	158	133	139	139	136	141	150	148	138	140	140	146	1708

Fonte: Compilação do autor a partir dos Horários de Transporte Aéreo Regular de Empresas Aéreas fornecidas a ANAC 2016.

Apêndice D/ Voos entre os aeroportos de Congonhas/SP e Santos Dumont/RJ (2006 a 2017)

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
2006	1.725	1.485	1.876	1.698	1.834	1.575	1.440	1.791	1.716	1.675	1.637	1.500	19.952
2007	1.445	1.346	1.920	1.748	1.627	1.404	1.161	1.455	1.456	1.506	1.794	1.317	18.179
2008	1.421	1.344	1.475	1.676	1.768	1.792	1.771	1.927	1.921	2.007	1.659	1.633	20.394
2009	1.694	1.590	1.829	1.636	1.736	1.667	1.710	1.801	1.652	1.646	1.642	1.632	20.235
2010	1.543	1.519	1.826	1.643	1.790	1.666	1.779	1.774	1.744	1.713	1.674	1.560	20.231
2011	1.592	1.594	1.718	1.790	1.792	1.635	1.736	1.824	1.813	1.778	1.709	1.749	20.730
2012	1.732	1.648	1.815	1.696	1.852	1.813	1.914	1.914	1.754	1.917	1.756	1.808	21.619
2013	1.736	1.627	1.824	1.810	1.779	1.630	1.764	1.903	1.851	2.117	1.839	1.781	21.661
2014	1.767	1.664	1.750	1.691	1.722	1.805	1.699	1.834	1.856	1.885	1.765	1.840	21.278
2015	1.843	1.694	2.007	1.856	1.883	1.405	1.913	1.988	1.805	1.876	1.715	1.783	21.768
2016	1.722	1.593	1.713	1.712	1.643	1.575	1.724	1.588	1.639	1.695	1.608	1.624	19.836
2017	1.574	1.464	1.745	1.571	1.602	1.519	1.676	1.651	1.620	1.693	1.607	1.603	19.325
													Total
													245.208

Fonte: Compilação do autor a partir dos Horários de Transporte Aéreo Regular de Empresas Aéreas fornecidos a ANAC de 2006 a 2017

Apêndice E/ Voos entre os aeroportos de Vitória e Confins/Belo Horizonte (2017)

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total
2017	188	148	188	206	233	219	196	213	199	196	161	184	2331