EJ NEWS – Revista Acadêmica da EJ Faculdade de Aviação Civil – Itápolis/SP - v. 1, n. 1, 2025, p. 110-134.
DOI: https://doi.org/10.63656/1dfs2c88–ISSN - 3085-7678 (online)

COMPREENDENDO O WAAS E O LPV: OS BENEFÍCIOS DO WIDE AREA AUGMENTATION SYSTEM

UNDERSTANDING WAAS AND LPV: THE BENEFITS OF THE WIDE AREA AUGMENTATION SYSTEM

Fabio Dias Cecilio[1]

RESUMO: Tomando-se a ótica da aviação comercial brasileira, a Navegação de Área (*Area Navigation* – RNAV) é o principal meio de navegação da atualidade nas operações de transporte aéreo regular no Brasil, por conta de ser um sistema de baixo custo de manutenção e de fácil implementação em diversos aeroportos do país. Nesse sentido, o conceito de Navegação Baseada em *Performance* (*Performance Based Navigation* – PBN), diferencia as especificações de navegação das aeronaves de acordo com a sua *performance* de Navgeação de Área; entre aquelas que operam somente RNAV e as que operam com a *Performance* de Navegação Requerida (*Required Navigation Performance* – RNP), esta que está em uso hoje no Brasil. Partindo do princípio da mitigação de erros inerentes ao uso do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS) em aeroportos onde a operação necessite de mais precisão, seja por meteorologia ou pelo relevo no entorno, o Brasil buscou maneiras de realizar as correções de tais erros a partir de sistemas de aumento de sinais GPS, estes já existentes nos Estados Unidos, como o Sistema de Aumento Baseado em Solo (*Ground Based Augmentation System* – GBAS). Porém em 2018 esse projeto brasileiro de implantação do GBAS foi interrompido. Nesse sentido esse artigo irá tratar da possibilidade da utilização de outro tipo de aumento de precisão dos sinais GPS, o Sistema de Aumento em Área Ampla (*Wide Area Augmentation System* – WAAS) e seus benefícios para a operação.
Palavras-chave: Procedimentos; Segurança; Precisão; Benefícios; Infraestrutura.

ABSTRACT: In Brazilian commercial aviation, Area Navigation (RNAV) is the predominant navigation method used in regular air transport due to its low maintenance cost and ease of implementation across numerous airports. Performance Based Navigation (PBN) further refines this by differentiating aircraft navigation capabilities based on performance, distinguishing between RNAV-only operations and those utilizing Required Navigation Performance (RNP), which is essential for certain procedures currently in use in Brazil. To mitigate errors at critical airports, particularly those affected by challenging weather or terrain, Brazil explored the adoption of Global Navigation Satellite System (GNSS) augmentation technologies, such as the Ground-Based Augmentation System (GBAS) already in use in the United States. However, the implementation of these systems was interrupted in 2018. This article examines that decision and evaluates the potential benefits of adopting the Wide Area Augmentation System (WAAS) as an alternative for improving GPS signal accuracy and enhancing aviation operations in Brazil.
Key-words: Procedures; Safety; Precision; Benefits; Infrastructure.

Introdução

De acordo com a Marinha dos Estados Unidos, a navegação aérea é "o procedimento de estabelecer a localização geográfica e manter a direção pretendida de um avião em relação à superfície terrestre". Assim, existem dois tipos de navegação: a navegação visual[2] e a navegação

[1] Aluno do Curso Superior de Pilotagem Profissional de Aeronaves na Faculdade de Tecnologia em Aviação Civil, Itápolis – São Paulo. fabiodiascecilio@gmail.com.
[2] Navegação visual consiste em voar e conduzir a aeronave utilizando-se pontos no solo e referências visuais como meios primários para navegar no ar.

por instrumentos[3]. A navegação sob as Regras de Voo por Instrumentos ou IFR[4] é o tipo de voo no qual o piloto se utiliza dos instrumentos embarcados na aeronave para conduzir uma aeronave, ao invés de se orientar por referências visuais exteriores. Dentro do voo por instrumentos, o meio mais moderno de navegar é a Navegação de Área (RNAV), aplicado na aviação civil desde 1994, consiste na utilização do sistema GPS para a realização de procedimentos por instrumento e do voo em si (FAA, 1996).

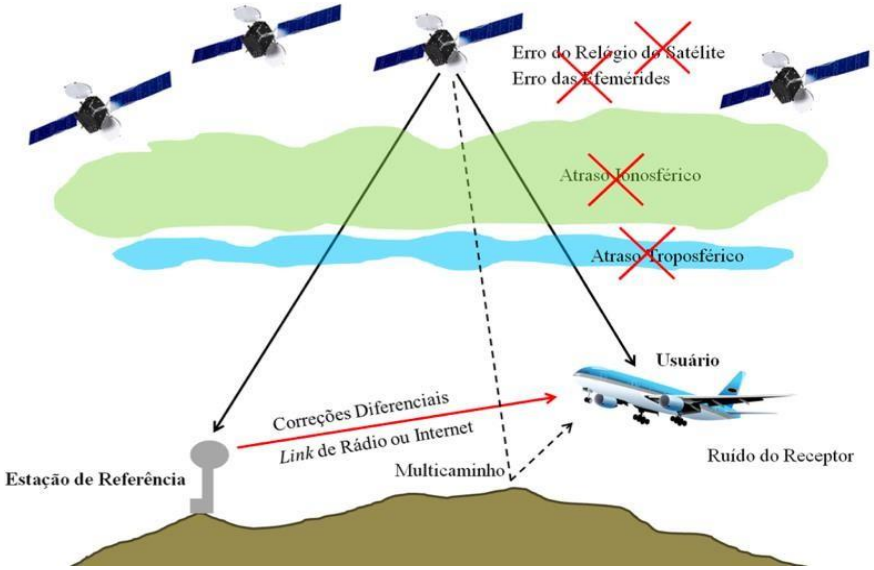
GPS é a sigla em inglês para Sistema de Posicionamento Global[5]. É a versão estadunidense do Sistema Global de Navegação por Satélites (*Global Navigation Satellite System* – GNSS) que permite determinar a posição de um ponto da Terra baseado em coordenadas geográficas. O GPS funciona por meio de uma constelação de satélites que orbitam a Terra e transmitem informações sobre as posições do usuário. Os receptores GPS medem simultaneamente sinais de três satélites para marcar por triangulação a posição do utilizador, no caso da navegação aérea são empregados pelo menos quatro, para informação de tempo-relógio.

O GPS em sua forma primária, muitas vezes apresenta imprecisões e perdas de sinal, o que pode ser um problema para a sua utilização na aviação em casos de condições meteorológicas marginais ou em operações em espaços aéreos onde a separação vertical e lateral é um fator crítico, por conta de tais casos é exigido para a operação aérea um grau maior de precisão, confiabilidade e segurança. Com isso, a fim de atender a requerimentos mínimos de integridade e precisão, foi desenvolvido um método conhecido como GPS Diferencial (*Differential* GPS – DGPS), que consiste em um tipo de correção dos sinais GPS, por meio da exclusão e retificação das influências da ionosfera e de erros já conhecidos de existirem no sistema, impactando na qualidade dos sinais (LEE, 2005).

A Figura 1 ilustra de maneira didática como os erros e imprecisões (marcados com um "X" vermelho) são excluídos e corrigidos pelo DGPS.

[3] Navegação por instrumentos consiste em voar e conduzir a aeronave utilizando-se somente os próprios equipamentos e instrumentos de voo e de navegação da aeronave, mantendo-se em um voo em que não é necessário contato visual com o exterior da aeronave.
[4] *Instrument Flight Rules.*
[5] *Global Positioning System.*

Figura 1 – Ilustração do funcionamento do DGPS



Fonte: Pereira (2018); adaptado de Lee (2005)

A evolução desses conceitos levou ao desenvolvimento de outros vários sistemas deaumento na qualidade dos sinais, como o Sistema de Aumento em Área Ampla (*Wide Area Augmentation System* - WAAS), que possibilitou realização de procedimentos de aproximação de precisão[6] somente com a utilização do GPS, sendo tão ou mais preciso quanto o Sistema de Pousos por Instrumento[7] (*Instrument Landing System* – ILS). O ILS possui desvantagens a serem consideradas quanto a sua aplicação, devido ao seu alto custo por conta da necessidade da instalação e manutenção de antenas em solo[8], está sujeito a interferências em suas radiofrequências, além de apresentar para a infraestrutura aeroportuária, algumas restrições de instalação, não sendo possível a sua utilização em qualquer aeródromo (HONEYWELL, 2019). O sistema *Wide Area Augmentation System* (WAAS) foi introduzido em 2003, e é composto por satélites e estações terrestres que captam sinais da constelação Navstar GPS. Estes sinais são aprimorados e transmitidos para as aeronaves em aproximação através do seu canal de difusão (WAAS Channel "WAAS Ch")[9], ou para aeronaves em rota dentro da sua extensa área de cobertura. O WAAS melhora significativamente o monitoramento da

[6] Segundo a Organização de Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) (2018), procedimentos de aproximação de precisão são aqueles procedimentos de aproximação cuja altitude de decisão (*Decision Height* – DH) se encontra abaixo de 250 ft acima do nível do solo (*above ground level* – AGL).
[7] O Sistema de Pouso por Instrumento (*Instrument Landing System* – ILS) é o procedimento de aproximação de precisão mais utilizado na aviação para pousos em condições atmosféricas críticas e que exigem precisão na realização da aproximação.
[8] As antenas que compõem o ILS são: Antena do Indicador de Rampa (*Glide Slope* – GS) guia a aeronave verticalmente até a zona ideal de toque na pista (*Touchdown Zone* – TDZ); Antena do Localizador (*Localizer* – LOC) fornece para a aeronave o guia lateral (eixo da pista) em uma aproximação de precisão.
[9] Maneira na qual vem indicada nas cartas o canal WAAS utilizado para o procedimento que será realizado.

integridade dos sinais, além das correções que são fundamentais na operação para melhorar a precisão da navegação. Seu maior diferencial nas operações aéreas foi a possibilidade de criação de um procedimento de aproximação de precisão, chamado Aproximação com *Performance* de Localizador com Guia Vertical, em tradução livre (*Localizer Performance with Vertical Guidance* – LPV).

Desde 2003, a aproximação LPV possibilita que aeronaves que operam exclusivamente por navegação satelital efetuem procedimentos de aproximação de precisão sem a necessidade de auxílios terrestres. Dessa forma, com uma rampa de planeio gerada a partir de dados de altimetria do WAAS e com guias laterais com a mesma precisão de um localizador a aeronave consegue descer continuamente com segurança, até uma DH de até 200 ft acima do solo. Com base nessa premissa, o WAAS emergiu como uma tecnologia promissora, usada para inúmeros benefícios. Além de aumentar os sinais GPS, o WAAS realiza um monitoramento da integridade dos sinais, o que aumenta a confiabilidade da operação, aprimora a navegação em todas as etapas do voo a altitudes de até 100.000 ft, oferece serviços de navegação e monitoramento em regiões que nunca possuiram tais serviços, e no futuro, possibilitará a diminuição dos custos com auxílios em solo (ESA, 2021).

A Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (FAA)[10] esclarece que a utilização do WAAS é essencial para a proteção da navegação aérea no espaço aéreo americano. A FAA disponibiliza mais de 4000 procedimentos LPV para utilização em mais de 2000 aeroportos. Sendo que, mais da metade desses aeroportos não dispõe de procedimentos ILS para aproximações de precisão (FAA, 2024).

Ao considerar o Brasil, há aeroportos com escassos ou inexistentes recursos de navegação. Todos os dias, vários voos regionais, tanto da aviação geral quanto da aviação comercial, são direcionados para aeroportos de difícil operação, sob condições meteorológicas que podem limitar a operação de pousos e decolagens. Além disso, em localizações com menos recursos, como por exemplo a região norte do país, existem locais em que o único meio viável de transporte é o aéreo, e ainda em aeroportos de difícil operação, onde frequentemente são executados procedimentos de não-precisão[11] e com mínimos defasados em relação às capacidades de precisão e monitoramento disponíveis atualmente.

Assim, em 2011, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) deu início a estudos para a instalação de um novo sistema de aumento de precisão e qualidade dos sinais GPS, o Sistema de Aumento Baseado em Solo (*Ground Based Augmentation System* - GBAS).

[10] *Federal Aviation Administration.*
[11] São aqueles procedimentos que não possuem guia vertical (ICAO, 2018).

Este sistema seria instalado no Aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão) no Rio de Janeiro, com o objetivo de melhorar a precisão, segurança e aumentar a eficiência das operações nos aeroportos mais importantes do Rio de Janeiro: Santos-Dumont, Galeão e Jacarepaguá. A implementação previa uma diminuição de custos e um aprimoramento na precisão das aproximações devido à troca do ILS pelo GBAS. No entanto, em 2018, sua implementação foi interrompida devido a estudos que serão analisados posteriormente neste artigo, e então comparada a um cenário alternativo onde o WAAS poderia preencher as lacunas deixadas pela tentativa anterior (DECEA, 2018).

Neste trabalho, serão empregados artigos científicos, manuais e websites em português e inglês, que contêm dados, informações técnicas, científicas e operacionais provenientes de pesquisas pertinentes ao assunto em questão. A abordagem adotada será explicativa-exploratória, com o objetivo de descrever, enumerar, relacionar e elucidar o funcionamento do WAAS e do LPV, além de seus benefícios para a operação aeronáutica em geral.

1 O funcionamento do sistema WAAS

Ao contrário dos tradicionais auxílios à navegação, que são baseados em terra, o WAAS oferece serviços de navegação e controle de forma uniforme em todo o espaço aéreo em que é empregado, neste caso, o espaço aéreo dos Estados Unidos (NAS)[12]. Dessa maneira o WAAS possui uma arquitetura de funcionamento que consiste em quatro componentes operando em conjunto para permitir o aumento da precisão e a melhoria da integridade dos sinais. O funcionamento do WAAS é dividido em três diferentes segmentos que funcionam em cadeia, sendo eles respectivamente: Segmento de Solo (*Ground Segment*), Segmento Espacial (*Space Segment*) e o Segmento de Usuário (*User Segment*).

O primeiro segmento, conhecido como Segmento de Solo (*Ground Segment*), é o mais extenso de todos. Nele, os sinais da constelação Navstar que contêm os dados enviados pela aeronave são recebidos por estações conhecidas como Estações de Referência de Área Ampla (WRS)[13]. Os sinais GPS são avaliados da seguinte maneira: informações sobre perdas de sinal na ionosfera são compensadas nos sinais recebidos e dados sobre a precisão atual dos sinais são levados em conta para correções futuras. Em relação às WRS, existem 38 instaladas nos Estados Unidos, em locais cuidadosamente analisados para que todos os erros nos sinais GPS possam ser previstos e corrigidos.

[12] *National Airspace System.*
[13] *Wide Area Reference Stations.*

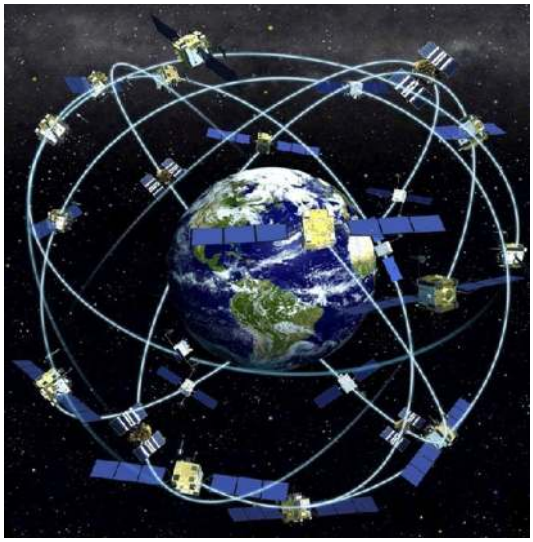
Assim, as WRS transferem as informações GPS coletadas para as três Estações Principais do WAAS (WMS)[14], através de uma rede terrestre de comunicações, com o objetivo de minimizar as perdas de dados. É nessas estações que se verificam os limites de erro para cada satélite monitorado. Assim, as informações recebidas são corrigidas e os estimados de tempo de voo e posição futura do avião também são corrigidas com base no horário interno da Rede WAAS (WNT)[15].

Dando continuidade a essa sequência de operações, a mensagem de aumento construída pelas WMS é enviada para as seis Estações de Solo de Difusão (GUS)[16], que são responsáveis por enviar a mensagem de aumento aos satélites geoestacionários do WAAS (WAAS GEO *Satellites*), ou seja, para o segundo segmento (*Space Segment*).

O Segmento Espacial (*Space Segment*), tem como principal finalidade intermediar o usuário (*User Segment*) e o Segmento de Solo (*Ground Segment*). Este segmento é composto por três satélites geoestacionários (GEO). Ao contrário dos satélites do Navstar GPS, que orbitam em torno da Terra (Figura 2), os satélites GEO são posicionados em um local específico no espaço para cobrir uma área específica, fornecendo dados de navegação mais precisos que serão enviados para as aeronaves (*User Segment*).

A Figura 3 ilustra os três satélites que fazem parte do Segmento Espacial (*Space Segment*) e a Figura 4 ilustra a área de cobertura (*satellite footprint*) deles nas longitudes nas quais ficam estacionados.

Figura 2 – Ilustração dos 24 satélites do Navstar GPS orbitando a Terra



Fonte: NASA (2019)

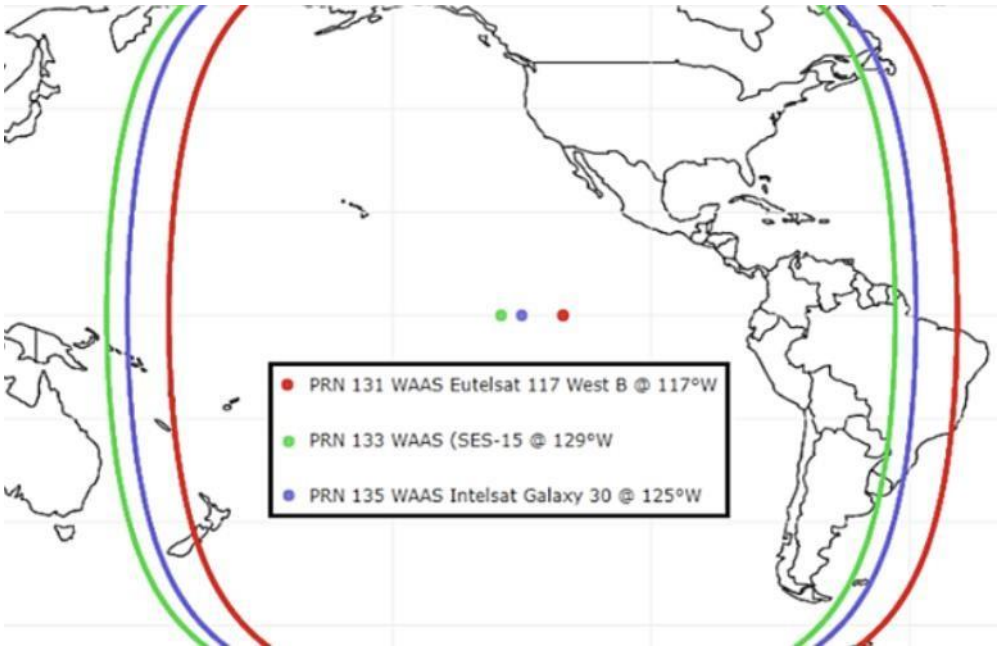
[14] *WAAS Master Stations.*
[15] *WAAS Network Time.*
[16] *Ground Uplink Stations.*

Figura 3 – Os 3 satélites do Segmento Espacial (*Space Segment*) do WAAS



Fonte: FAA (2024)

Figura 4 – Satélites do WAAS (pontos verde, azul e vermelho) e suas respectivas áreas de cobertura (circunferências verde, azul e vermelho).



Fonte: NAV CANADA (2023)

Agora, no terceiro segmento, o Segmento do Usuário (*User Segment*), os sinais aumentados serão recebidos diretamente pelos receptores GNSS habilitados para receber dados do WAAS, provenientes do Segmento Espacial (*Space Segment*). Portanto, este segmento é basicamente composto por receptores GNSS instalados nas aeronaves, que processam as mensagens de aumento recebidas dos satélites WAAS GEO e as utilizam como informações e dados relevantes ao voo.

Os usuários propriamente ditos do WAAS incluem qualquer aeronave com aviônicos[17] aprovados para o uso do WAAS; além das aeronaves alguns órgãos de controle de tráfego aéreo (ATC)[18] também utilizam o WAAS para gerenciar as aeronaves em seu espaço aéreo de maneira mais eficiente e segura (FAA, 2024). A Figura 5 ilustra de forma simples e intuitiva o funcionamento do sistema WAAS.

Figura 5 – Ilustração do funcionamento básico do WAAS



Fonte: adaptado de FAA (2024)

Há vários fabricantes globais desses receptores, incluindo GARMIN, Honeywell, Rockwell Collins e Avidyne. Aeronaves comerciais que possuem suas licenças classificadas como tipo[19] pela FAA, receberam Suplementos aos Certificados de Tipo (*Aircraft Supplemental Type Certificates* – STC)[20] para utilizar o WAAS, como por exemplo Boeing, Bombardier, Cessna e Embraer (ESA, 2021).

Assim, o funcionamento do WAAS se estabelece no Sistema do Espaço Aéreo estadunidense (NAS), oferecendo ao usuário uma performance de navegação superior em termos de precisão e integridade da operação, em contraste com o uso comum de um receptor GPS convencional. Portanto, a segurança a bordo, através das certificações metódicas dos

[17] Aviônicos são todos os sistemas eletrônicos de uma aeronave que desempenham uma função no voo. Nesses sistemas podem estar incluídos: sistemas de comunicação, sistemas de navegação, telas que mostram dados pertinentes ao voo, além de diversos outros sistemas eletrônicos que realizam uma função individual como radares (WIKIPEDIA, 2024).
[18] *Air Traffic Control.*
[19] Uma aeronave que possui Certificação de Tipo (TC) é aquela que exige certificação especial para ser considerada aeronavegável devido às suas características específicas de operação. (FAA, 2023)
[20] Um Certificado Suplementar de Tipo (STC) é um certificado de tipo (TC) emitido quando um solicitante recebe para modificar um produto aeronáutico que possua um TC em relação ao seu design original. O STC, que incorpora por referência o TC relacionado, aprova não apenas a modificação, mas também como essa modificação afeta o design original. (FAA, 2023)

processos de implementação e construção, além da aprovação dos equipamentos de aviônicos usados pelo usuário final, integra uma ampla rede com o objetivo de aprimorar a segurança do sistema de navegação aérea.

2 Os benefícios e aplicação do WAAS

Desde 2003, o WAAS é implementado em todo o território americano, beneficiando também partes do México e do Canadá, devido ao posicionamento espacial dos três satélites que compõem o sistema. A sua implementação trouxe benefícios para vários aeroportos localizados em regiões isoladas e carentes de auxílios e equipamentos terrestres. Quando combinado com um Sistema de Vigilância Automático Dependente de Transmissão de Dados, em tradução livre (*Automatic Dependant Surveillance-Broadcasting* – ADS-B)[21], ele melhora a qualidade da transmissão de dados aeronáuticos entre as aeronaves e os órgãos de controle de tráfego aéreo (ATC) (HONEYWELL, 2019).

2.1 WAAS hoje

Atualmente, o WAAS oferece cobertura para grande parte da América do Norte, efetuando correções para o sinal GPS L1[22], o mais utilizado dentro da aviação para navegação e realização de procedimentos. O WAAS está em constante evolução, tendo passado por três etapas principais de desenvolvimento, com planos em andamento para aprimoramento do sistema, com o objetivo de adequá-lo aos futuros padrões dos Sistemas de Aumento Baseados em Satélites (*Satellite Based Augmentation System* - SBAS). O foco principal está na mudança da correção apenas da frequência L1 para a correção de dupla frequência, incluindo os sinais GPS das frequências L5[23] (ESA, 2021).

Em certas condições, como durante distúrbios ionosféricos ou quando as constelações de satélites estão enfraquecidas[24], a disponibilidade do sistema pode ser reduzida. Dessa forma, a integração planejada dos sinais L1 e L5 mitigará essa limitação, reduzindo a dependência do sistema em relação às condições ionosféricas, que é uma das principais fontes de erro. Ao

[21]ADS-B é um sistema de monitoramento e vigilância aérea que combina a posição da aeronave e outras informações importantes do voo, as transmitindo via sinais GPS para instalações de solo corrigindo pequenos erros as retransmitindo para o ATC e a outras aeronaves de um mesmo espaço aéreo, a fim de criar um cenário de vigilância precisa das aeronaves, para informar dados pertinentes ao voo e como forma de aumentar a segurança da operação (FAA, 2024).
[22] A frequência de sinais GPS L1 é a mais utilizada na aviação civil como um todo e é aquela que está na faixa de 1575.42 MHz (ESA, 2021).
[23] A frequência de sinais GPS L5 é uma das mais novas frequências de sinais GPS utilizadas para navegação aérea e é aquela que está na faixa de 1176.45 MHz (ESA, 2021).
[24] Pode ocorrer por diversos fatores, como: tempestades solares, distúrbios ionosféricos e problemas técnicos nos sistemas ou em seus componentes (RAYTHEON, 2018).

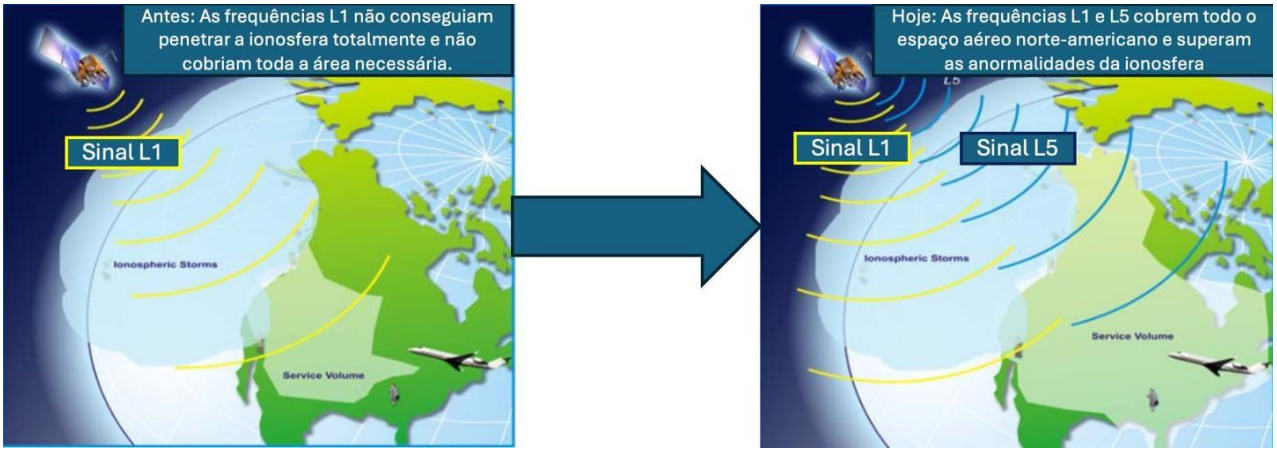
resolver esse desafio, a configuração de dupla frequência melhorará significativamente o desempenho do sistema, tornando os guias verticais e laterais mais confiáveis e aumentando a consistência da confiabilidade do serviço em uma gama mais ampla de condições operacionais (FAA, 2024).

A Figura 6 ilustra como o sinal GPS L1 é vulnerável à atividades ionosféricas e porque é necessário aderir à correção de sinais de dupla frequência.

Segundo a FAA, de acordo com um levantamento realizado em 9 de maio de 2024, já existem 2019 aeroportos servidos de procedimentos LPV, sendo que 1255 destes não possuem um sistema ILS instalado. É nesta situação que fica evidente o maior benefício do WAAS, permitir aproximações de precisão, ou seja, com uma Altura de Decisão (*Decision Height* – DH) menor que 250 ft, em aeroportos remotos e sem equipamentos em solo, que seriam necessários para a realização de aproximações desse tipo (FAA, 2024).

Mais da metade dos aeroportos que utilizam o WAAS não têm sistemas que possibilitam uma aproximação de precisão instalados na infraestrutura do aeroporto. Isso ocorre porque essa tarefa é dispendiosa e em alguns casos, a localização geográfica do aeródromo pode impedir a instalação do ILS, simplesmente por não ser fisicamente ou tecnicamente viável. A sua implementação em vários aeroportos ampliou suas vantagens para a aviação geral e regional na América do Norte, possibilitando que rotas comerciais e voos privados possam ser executados com segurança, mesmo em circunstâncias desfavoráveis de localização e clima (FAA, 2024).

Figura 6 – Processo de correção dos sinais



Fonte: adaptado de FAA (2016)

2.2 Outros benefícios

Além dos benefícios evidentes na fase de aproximação, os sinais GPS são utilizados no espaço aéreo dos Estados Unidos para vigilância ATS, por meio de serviços como: projeção de

rotas e transmissão de dados e informações com qualidade e exatidão. Isso funciona da seguinte maneira, o WAAS utiliza suas capacidades de aumento dos sinais GPS para enviar às estações de solo ADS-B informações da aeronave com maior precisão e qualidade; tais como: localização, vetores de movimento, altitude e velocidade, para o controle de tráfego e para outras aeronaves no mesmo espaço aéreo. Isso possibilita que os controladores gerenciem as aeronaves dentro de sua jurisdição de maneira mais eficaz, diminuindo o congestionamento de tráfego, a emissão e consequentemente, o consumo de combustível (HONEYWELL, 2019).

3 *Localizer Performance with Vertical guidance* (LPV)

O *Localizer Performance with Vertical guidance* é um procedimento por instrumento fundamentado na ideia da Navegação de Área (RNAV), que utiliza sinais de GPS aumentados pelo WAAS para realizar aproximações de precisão, com características de execução muito parecidas com as de um ILS. Assim, desde 2003, o LPV possibilita que várias pistas, desde aeroportos municipais e sem infraestrutura até grandes aeroportos internacionais, tenham um procedimento de precisão de fácil operação, com custos de aquisição e manutenção reduzidos. Portanto, tornando mais democrático o acesso a locais de difícil acesso aéreo para uma ampla gama de operadores (LEE, 2005).

3.1 Benefícios do LPV

A precisão do WAAS e seus mínimos meteorológicos podem ser tão precisos quanto os procedimentos feitos com o ILS. Nesse sentido, o LPV, por ter um guia vertical e lateral, é classificado como um procedimento de precisão, pois pode ter uma DH inferior a 250 pés, podendo atingir até 200 pés acima do nível do solo (AGL), o que aumenta a segurança da operação e permite a realização de uma aproximação final com descida contínua (*Continuous Descent Final Approach* – CDFA). Também aumenta a economia de combustível e reduz a incidência de voos controlados contra o terreno (*Controlled Flight Into Terrain* – CFIT) em uma gama variada de condições atmosféricas em que as operações podem ser realizadas (HONEYWELL, 2019).

> De acordo com a Honeywell, o LPV da perspectiva do operador, provê um custo bem menor, de compra, instalação e manutenção, ao mesmo tempo em que proporciona uma capacidade de aproximação altamente precisa, estável e modificável para todo tipo de operação e aplicação com altos níveis de disponibilidade. Nesse sentido, aeroportos que já possuem ILS podem utilizar o LPV como *backup* para o ILS, e eventualmente devido ao custo de

> manutenção ou substituição do ILS, culminar então pela substituição do sistema pelo LPV. (HONEYWELL, 2019, tradução nossa)[25]

Outras vantagens do LPV incluem: a ausência de áreas críticas associadas ao ILS que podem impactar o tráfego no aeroporto. Do ponto de vista do piloto, um LPV se assemelha com um ILS, porém, a aproximação com o WAAS é mais estável que a de um ILS, pois não se utiliza radiofrequência (RF), que é mais propensa a interferências. O guia vertical (GS) em um procedimento LPV é baseado nos dados de altitude do WAAS, não estando sujeito às variações altimétricas devido temperaturas extremas ou erros de ajuste por parte dos pilotos. Do ponto de vista do operador aeroportuário, as aproximações com o LPV, devido à sua simplicidade de uso, podem ser implementadas nos aeroportos de maneira muito mais rentável e sem que essa economia possa comprometer a segurança da operação (MONICO, 2008).

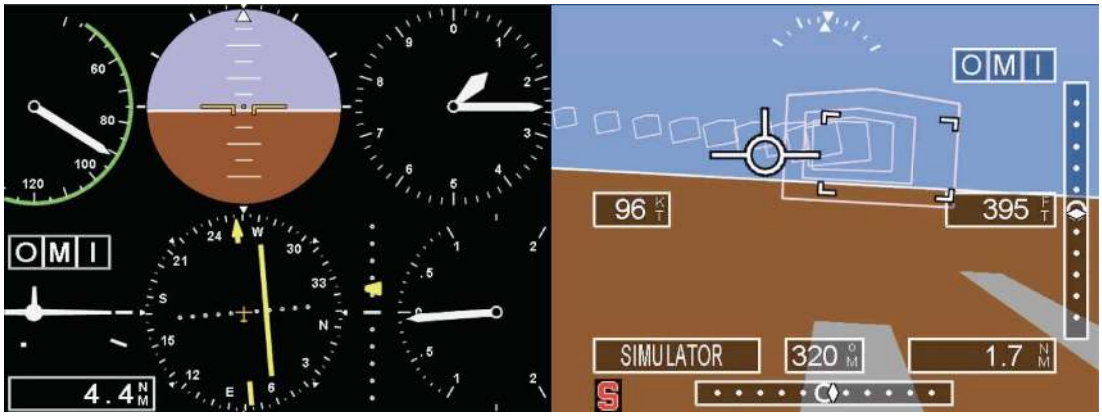
3.2 Operação do LPV

O WAAS é um sistema complexo e por isso, pode parecer complicado implementar um procedimento como o LPV. No entanto, isso não é verdade. Qualquer aeronave equipada com um receptor GNSS compatível e certificado para sinais WAAS receberá os sinais e os exibirá aos pilotos nas telas (*displays)* de seus instrumentos, de forma intuitiva, como ilustrado nas Figuras 7 e 8.

Este método intuitivo e simples de mostrar a trajetória de voo a ser seguido (*flight path*), juntamente com a apresentação simplificada das informações, faz parte da filosofia do WAAS para a segurança de voo. Isso pode ser examinado através de um estudo da Stanford University (2009) sobre a evolução da navegação aérea, no qual foi contestada a seguinte conclusão, em tradução livre: "Melhorar a consciência situacional se tornou reconhecidamente um elemento crítico na redução geral das taxas de acidentes". Assim, com a permissibilidade do WAAS para com o desenvolvimento de novos tipos de aviônicos e de capacidades de equipamentos, a consciência situacional dos pilotos é melhorada e torna mais simples a realização de procedimentos complexos sob condições meteorológicas adversas ou por eventuais panes na aeronave que possam aumentar a carga de trabalho dos pilotos (STANFORD UNIVERSITY, 2009).

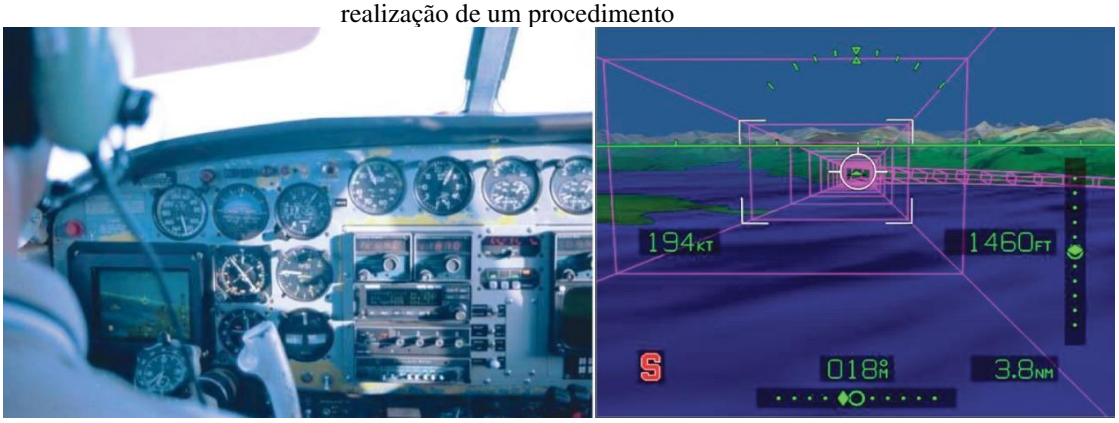
[25] *From the perspective of the airport, it provides a much lower cost (both acquisition and operational) relative to alternatives such as ILS while still providing a highly precise, stable and available approach capability to the airport with very high levels of availability. Airports that have an existing ILS may add LPV approaches in the near term as a backup to the ILS, and eventually as the cost of maintaining/replacing the ILS becomes increasingly prohibitive, LPV will serve as a replacement for ILS technology with some caveats. (Honeywell, 2019).*

Figura 7 – Comparação de um painel convencional e um *display* 3D com dados gerados a partir de dados do WAAS



Fonte: Stanford University (2009)

Figura 8 – *Display* com imagens e dados de terreno gerados a partir do WAAS à frente do piloto durante a realização de um procedimento



Fonte: Stanford University (2009)

3.3 Interpretação de cartas utilizando o WAAS e o LPV

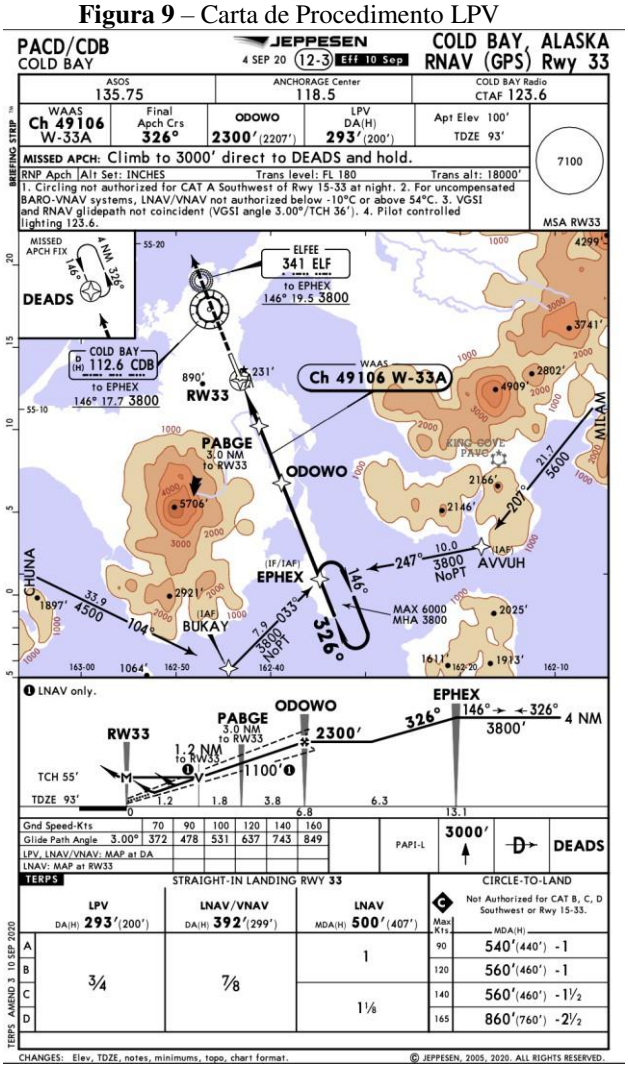
Conforme observado na Figura 9, o procedimento do aeroporto de Cold Bay no Alaska demonstra claramente o principal benefício do WAAS, que é possibilitar aproximações de precisão apenas por GPS em aeroportos remotos. O procedimento WAAS é mais simples que um procedimento por GNSS ou por navegação convencional, com as únicas diferenças sendo a simbologia e a informação do canal WAAS (WAAS Ch) a ser sintonizado pelo piloto no equipamento GPS da aeronave, como se fosse uma frequência de rádio auxílio em um procedimento convencional.

Em relação à execução dos procedimentos, sua execução é extremamente simples, sendo exatamente igual a de um ILS, não exigindo treinamento adicional para os pilotos. Conforme mencionado anteriormente, o instrumento aponta a rota a ser seguida pelo piloto, fornecendo

um guia lateral preciso e um guia vertical gerado eletronicamente, com base em dados de altimetria coletados pelo sistema WAAS (BRAGA, 2019).

A Figura 10 exibe a realização prática de um LPV no Aeroporto Estadual de Aurora (KUAO) no estado americano do Oregon. A filosofia de cores dos aviônicos indica a fonte da informação exibida, nesse caso, o guia vertical e lateral magenta[26] indica a realização de um procedimento usando dados do GPS, também indicado por um "G" acima do *glide slope*, e o anunciador do modo de voo (*flight mode annunciator* – FMA) na parte inferior indica o tipo de procedimento, no caso um LPV.

Figura 9 – Carta de Procedimento LPV



Fonte: Jeppesen (2020)

[26] Cor parecida com roxo ou rosa, utilizada em *displays* para indicar a origem das informações de voo mostradas.

Figura 10 – *Display* Avidyne de uma aeronave leve realizando uma aproximação LPV



Fonte: BruceAir (2022)

4 Sistemas de Aumento no Brasil

Os benefícios dos sistemas de aumento de sinais GPS, foram observados pelo DECEA em 2011, quando junto à FAA, foram iniciados estudos para a implementação do GBAS no Brasil. O Brasil percebeu os benefícios que o GBAS e o Sistema de Pouso por GBAS (GBAS *Landing System* – GLS) poderiam trazer às operações aos aeroportos de Galeão (SBGL), Santos-Dumont (SBRJ) e Jacarepaguá (SBJR). Esse sistema permite aproximações de precisão nos aeroportos com o uso do GLS[27] (PEREIRA, 2018).

Quando a instalação fosse concluída, o Galeão poderia substituir o ILS e reduzir os custos de manutenção e operação (ICAO, 2020). Além do Galeão, as vantagens do GBAS se estendem a outros aeroportos em sua área de atuação, como o Santos Dumont, que poderia operar com mínimos CAT II, e Jacarepaguá, que poderia operar CAT I[28], somente com a instalação da estação principal do GBAS no Galeão e simples antenas de referência nos respectivos aeroportos. (DECEA, 2024).

[27] GLS é um tipo de aproximação de precisão alternativo ao ILS, que por meio de uma única estação GBAS em solo transmite dados corrigidos do GNSS para as aeronaves em aproximação, de forma a permitir que elas realizem aproximações de precisão apenas com o uso do equipamento GNSS embarcado (FAA, 2016).
[28] Categoria da aproximação de precisão. Existem três tipos de categorias das aproximações de precisão que são classificadas conforme os seus mínimos meteorológicos: CAT I – DH de até 200 ft; CAT II – DH de até 50 ft ft; CAT III – DH de até 0 ft (*autoland*).

O Sistema de Aumento Baseado em Solo (*Ground Based Augmentation System* – GBAS), é um sistema de aumento que tem a mesma finalidade do WAAS, aumentar a precisão e a integridade dos sinais GPS para a realização de procedimentos de precisão. O GBAS ao contrário dos satélites geoestacionários do WAAS, se baseia em estações de solo que enviam os sinais diretamente para as aeronaves e concentra sua aplicação em áreas menores, como em Áreas de Controle Terminal (*Terminal Control Area* – TMA)[29]. No caso do Brasil, o GBAS aqui iria se concentrar na operação da Terminal Rio de Janeiro (SBWJ).

O DECEA buscou implementar o sistema GBAS no Aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão) no Rio de Janeiro em 2011 (Figura 11), adquirindo junto a empresa norte-americana Honeywell uma Estação SLS-4000 *Smart Path* GBAS recém certificada pela FAA, com a finalidade de avaliar a qualidade e segurança do serviço GBAS no Brasil (PINHO, 2021). Segundo o Tenente-Coronel-Aviador Ricardo Elias Cosendey em entrevista a revista Aeroespaço (2013), era necessário estudar como uma região de baixa latitude no país iria influenciar na operação do GBAS, situação a qual o sistema ainda não havia sido colocado à prova.

Em 2014 o DECEA levou uma resolução ao Grupo da ICAO de Implementação e Planejamento Regional da América do Sul e Caribe (GREPECAS)[30], alegando que, devido a eventos ligados à baixa latitude de instalação do sistema, o GBAS estava sujeito a intensas atividades ionosféricas que prejudicavam seu funcionamento. Fenômenos como bolhas de plasma e cintilação, muito frequentes na ionosfera na nossa latitude, poderiam resultar em anomalias operacionais no GBAS. (PINHO, 2021)

Nesse sentido, o Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) ainda estuda outras maneiras de implementar um sistema de aumento GPS que satisfaça os níveis mínimos de precisão exigidos pela ICAO para utilização do GBAS. O WAAS ainda não passou por estudos sobre uma possível implementação no Brasil. No entanto, o ICEA já incluiu o WAAS na lista de pesquisas como um possível candidato a ser o primeiro sistema de aumento de sinais GPS no Brasil, através do programa de desenvolvimento do DECEA, o SIRIUS[31] (PEREIRA, 2018).

[29] Áreas de Controle Terminal (TMA) são espaços aéreos controlados localizados na confluência de Rotas ATS nas vizinhanças de um ou mais aeroportos principais. (ICAO, 2005)
[30] CAR/SAM *Regional Planning and Implementation Group.*
[31] "O Programa SIRIUS é o instrumento do Comando da Aeronáutica (COMAER) voltado para a evolução do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), em resposta ao aumento do tráfego aéreo, à maior diversidade de meios aéreos e ao desenvolvimento tecnológico no campo da aviação" (DECEA, 2024).

Figura 11 – Localização das antenas e da Estação do GBAS no Galeão



Fonte: Pereira (2016)

4.1 Proposições de aplicação do WAAS no Brasil

Com base no princípio de segurança para orientar uma possível implementação do WAAS no Brasil, serão levados em conta: espaços aéreos de grande fluxo; aeroportos-chave; aeroportos com infraestrutura precária e/ou uma meteorologia conhecida por influenciar suas operações. O intercâmbio futuro de tecnologias e vivências entre os Estados Unidos e o Brasil poderia ser extremamente vantajoso para a criação de um Sistema Nacional de Aumento Baseado em Satélites (*Satellite Based Augmentation System* – SBAS), semelhante ao estadunidense WAAS. Isso tornaria o espaço aéreo brasileiro mais eficaz e seguro, servindo assim como mais um estímulo para o crescimento da aviação comercial no Brasil (BELLEI, 2006).

O histórico das condições meteorológicas adversas no Brasil, juntamente com o crescimento anual do tráfego aéreo, evidenciam o potencial do uso do WAAS. Isso se deve à melhoria na segurança e otimização operacional, além da continuidade dos voos saindo e chegando, mesmo em condições meteorológicas desfavoráveis. Segundo o especialista em aviação Roberto Peterka em entrevista à revista Exame; o fechamento de aeroportos por conta de condições meteorológicas é danoso à economia e ao atrativo de investimentos de empresas na aviação comercial brasileira: “É necessário, mesmo que fosse menor o número de fechamentos. Agora, mais uma vez, tem de pesar o valor do investimento e o retorno disso.” (PETERKA, 2013)

> De acordo com o perito em aviação Roberto Peterka acerca da instalação de equipamentos ILS tudo é uma questão econômica: "Tudo é uma questão de necessidade. Conforme vão aparecendo os problemas, a tecnologia é implementada. Até algum tempo atrás, mesmo Guarulhos fechava com nevoeiro. Quando o custo-benefício é favorável, implementa-se", disse Peterka. Além disso ele também faz a comparação com a operação americana: "Essa é a nossa condição. Se pegar outros países, há muito mais equipamentos que permitem esse tipo de operação. Nos grandes aeroportos dos Estados Unidos, você pousa com qualquer tempo, desde que o avião tenha condições" (PETERKA, 2013).

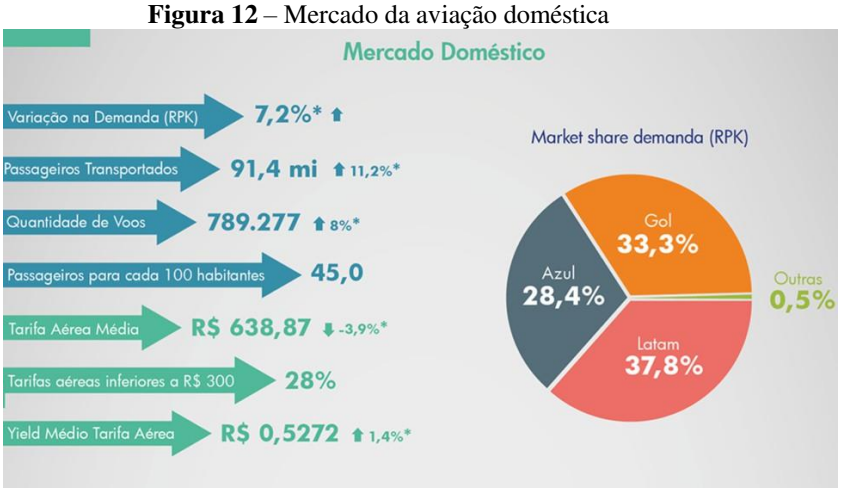
As Figuras 12 e 13 mostram o aumento no sistema de aviação comercial, tanto em âmbito nacional quanto internacional. Várias companhias internacionais visam o mercado brasileiro devido ao seu potencial econômico para a operação de voos, sendo o Galeão e Guarulhos o centro dessas operações. Outros aeroportos, anteriormente considerados secundários, vêm ganhando relevância no mercado e atraindo mais voos, como Manaus e Belém no norte, Recife, Fortaleza e Salvador no nordeste, Brasília no centro-oeste, e Curitiba e Porto Alegre no sul. Dessa forma, em contrapartida ao GBAS que favoreceria apenas uma região terminal, restrita a alguns aeroportos que contariam com suas antenas, evidencia-se que um sistema amplo que beneficie o Brasil em sua extensão continental seria o ideal para a aplicação na aviação nacional.

Atualmente, o Brasil conta com um espaço aéreo altamente dependente do GPS, com aerovias RNAV, mais de 400 procedimentos de aproximação por instrumentos (*Instrument Approach* Procedure – IAP) publicados, e vários aeroportos que utilizam apenas o GPS para a realização de procedimentos de saída e aproximação (DECEA, 2024). Pode parecer muito, mas quando comparamos o que temos, ao que o WAAS permite nos Estados Unidos, fica claro que estamos perdendo um grande benefício à nossa operação.

Portanto, seria extremamente relevante para o nosso contexto nacional a implementação de um sistema que favorecesse todo o sistema aéreo do Brasil, semelhante ao que é implementado desde 2003 nos Estados Unidos. A introdução do WAAS no nosso país seria extremamente benéfica, possibilitando um Controle de Tráfego Aéreo (ATC) mais eficaz e otimizado, além de permitir que mais aeroportos realizem procedimentos de precisão com o LPV.

A Figura 14 mostra a quantidade de passageiros transportados entre regiões e a Figura 15 a crescente da atividade de voos internacionais, que justificam a demanda por melhores condições operacionais de serviços de tráfego aéreo em suas respectivas malhas aéreas.

Figura 12 – Mercado da aviação doméstica



Fonte: ANAC (2023)

Figura 13 – Mercado da aviação internacional



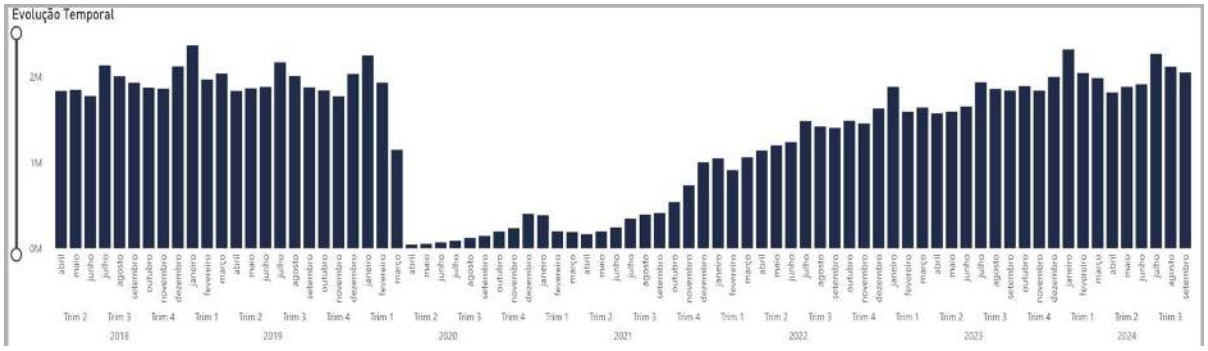
Fonte: ANAC (2023)

Figura 14 – Quantidade de passageiros transportados em voos entre regiões e sua participação percentual no mercado até setembro de 2024

Entre Regiões	Valor	Participação
SUDESTE <---> SUDESTE	13.568.668	38.63%
SUDESTE <---> NORDESTE	8.953.174	25.49%
SUL <---> SUDESTE	6.630.075	18.87%
SUDESTE <---> CENTRO-OESTE	4.644.890	13.22%
SUDESTE <---> NORTE	1.329.620	3.79%
Total	**35.126.427**	**100.00%**

Fonte: ANAC (2024)

Figura 15 – O mercado da aviação comercial internacional brasileira em constante crescente



Fonte: ANAC (2024)

4.2 Benefícios para a aviação nacional advindos de uma possível implementação

As vantagens para o Brasil seriam significativas para a aviação nacional, sendo a eficiência e a segurança na operação os elementos fundamentais para a ideia de implementar um sistema de aumento de sinal GPS no Brasil. Um sistema como o WAAS não favoreceria apenas uma região terminal pequena, como o DECEA almeja com o GBAS, mas uma vasta região continental, como é o caso do WAAS nos Estados Unidos. Portanto, ao analisar as vantagens do WAAS para os Estados Unidos em comparação com o Brasil, um país cada vez mais voltado para tecnologias do futuro como o GPS, é pertinente considerar a possibilidade de implementar um sistema como o WAAS.

Atualmente, o Brasil controla o tráfego aéreo através de radares primários e secundários, que não oferecem eficiência operacional de custos e autonomia na qualidade dos equipamentos instalados. O WAAS serviria para apoiar os radares de vigilância, enviando dados de alta qualidade para os controladores de qualquer dispositivo GPS embarcado que suporte o WAAS. Com essas informações, eles poderiam otimizar o tempo de voo, poupar combustível e administrar rotas em áreas com grande tráfego.

As condições climáticas adversas que impactam a operação em aeroportos de grande importância econômica também seriam atenuadas, como as regiões Norte e Sudeste, conhecidas por suas chuvas e neblina constantes, e a região Sul, que recentemente enfrentou condições climáticas que fecharam vários aeroportos na região. É evidente que a implementação do LPV em aeroportos nessas regiões aumentaria a permissibilidade da operação e diminuiria os custos operacionais associados ao ILS. Também permitiria a possibilidade de transferir os custos de manutenção dos auxílios terrestres para o investimento em tecnologias satelitais que impulsionariam o progresso da indústria espacial do Brasil, representando mais uma vantagem econômica associada ao WAAS (LEE, 2005).

Outro cenário que deve ser levado em conta é o da aviação regional, que representa uma grande parcela do tráfego aéreo no Brasil. Como o próprio termo indica, a aviação regional geralmente opera em aeroportos municipais, que podem não ter a infraestrutura necessária para assegurar a segurança das operações em uma gama ampla de condições. Nos Estados Unidos, a implementação do WAAS em praticamente todo o continente norte-americano, faz com que vários aeródromos municipais se beneficiem do sistema ao dispor de um procedimento LPV para aproximações de precisão, mesmo sem qualquer tipo de infraestrutura aeroportuária ou auxílios a navegação instalados em solo.

Por exemplo, um aeroporto como o Leite Lopes (SBRP) em Ribeirão Preto, no interior de São Paulo, poderia ter uma aproximação de precisão para os voos que pousam, sem a exigência de instalação de qualquer equipamento no local. Isso permitiria a execução de uma aproximação em condições meteorológicas adversas. Além dos benefícios operacionais, esse tipo de procedimento permitiria uma um fluxo maior de aeronaves que pousam lá, impulsionando então novas rotas e consequentemente impactando positivamente a economia local.

Considerações finais

Para responder ao objetivo geral e aos objetivos específicos deste estudo, foram avaliados os benefícios proporcionados pelo WAAS. Esse sistema de aprimoramento de sinal GPS tem proporcionado à aviação comercial nos Estados Unidos avanços notáveis em eficiência, segurança e acessibilidade, servindo como um exemplo relevante para o contexto brasileiro. De modo que, seria interessante levar a cabo estudos acerca da ionosfera brasileira, a fim de que os empecilhos que impedem a aplicação de novas tecnologias aqui no Brasil, como o WAAS, fossem superados.

Nos Estados Unidos, o WAAS não só modernizou o sistema de navegação aérea, como também ampliou o acesso a aeroportos de menor porte, possibilitando que esses locais operem com aproximações de precisão mesmo em condições meteorológicas adversas, mesmo sem infraestrutura de solo. Com essa tecnologia, os pilotos nos Estados Unidos conseguem realizar pousos e decolagens por instrumentos em locais anteriormente limitados por condições climáticas ou por falta de infraestrutura, beneficiando diretamente mais de 1.200 aeroportos. Ademais, a economia local dessas cidades foi beneficiada, devido ao crescimento no número de voos.

No Brasil, a adoção de um sistema parecido com o WAAS poderia transformar radicalmente a infraestrutura e a gestão do espaço aéreo, tornando mais democrático o acesso a

áreas remotas e melhorando a segurança operacional. Em um país de tamanho continental e com mais de 3.000 aeródromos, sendo muitos deles localizados em regiões remotas ou de difícil acesso, o WAAS poderia viabilizar a expansão da conectividade regional, expandindo a variedade de rotas e diminuindo a dependência de infraestrutura terrestre. A facilidade de acesso contribuiria para a descentralização econômica, fomentando o crescimento regional e estimulando o estabelecimento de empreendimentos locais, particularmente em regiões turísticas, regiões agrícolas ou regiões distantes dos centros urbanos, que frequentemente lidam com obstáculos de transporte, sendo a aviação a única opção para vencer as barreiras da distância.

Para concluir, a implementação de um sistema para maior precisão, como o WAAS, no Brasil poderia representar um progresso considerável na área de tecnologia aeroespacial, uma vez que demandaria a construção de uma infraestrutura de satélites, de estações terrestres e mais estudos acerca da ionosfera que se situa sobre a latitude brasileira, o que promoveria a inovação no país e consolidaria um avanço tecnológico e científico. O Brasil poderia obter benefícios não só na área da aviação, mas também na geração de novos postos de trabalho e na sedimentação de nossa base científica, auxiliando na segurança e no desenvolvimento econômico de várias áreas. Pesquisas futuras sobre este e outros tópicos relacionados à navegação aérea são fundamentais para ampliar as perspectivas futuras no avanço dos princípios de segurança, eficiência e acessibilidade na aviação civil.

Referências

AGUIAR, Claudinei Rodrigues de. **GRADE IONOSFÉRICA PARA APLICAÇÕES EM POSICIONAMENTO E NAVEGAÇÃO COM GNSS**. 2010. 254 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Cartográficas, Universidade do Estado de São Paulo, Presidente Prudente, 2010.

BELLEI, Leandro Napoli. **O Sistema WAAS E a Estimação Do Atraso Ionosférico No Sinal GPS**. 2006. Disponível em: http://www.bd.bibl.ita.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=275. Acesso em: 20 set. 2024.

BERTAGLIA, Rodrigo. **Modernização dos Sistemas de Navegação Aérea no Brasil e Seus Benefícios para Aviação Geral**. 2021. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2021.

BIDINOTTO, Jorge Henrique; CESARINO, Yuri. **Princípios de Aviônica e Navegação Capítulo 3 - Pouso por Instrumentos**. 2017. 27 f. Curso de Engenharia Aeronáutica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

BIDINOTTO, Jorge Henrique; MORAES, Marcus Vinicius Pereira de. **Princípios de Aviônica e Navegação Capítulo 6 - Navegação via Satélite**. 2017. 31 f. Curso de Engenharia Aeronáutica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

BRAGA, Lucas Cunha; SILVA, Tammyse Araújo da. **ILS CAT III no Brasil: Custo-benefício de Instalação no Brasil**. 2019. 10 f. Curso de Ciências Aeronáuticas, Pontifícia Universidade Católica, Goiânia, 2019.

BRASIL. DEPARTAMENTO DE CONTOLE DO ESPAÇO AÉREO. **DECEA e FAA debatem os impactos da ionosfera para a operacionalização do GBAS no Brasil**. 2018. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=decea-e-faa-debatem-os-impactos-da-ionosfera-para-a-operacionalizacao-do-gbas-no-brasil. Acesso em: 11 set. 2024.

BRUCEAIR. **How is an LPV Glidepath Created?** 2022. Disponível em: https://bruceair.wordpress.com/2022/03/19/how-is-an-lpv-glidepath-created/. Acesso em: 22 set. 2024.

CANADÁ. NAV CANADA. . **Challenges during localizer performance with vertical guidance (LPV) approach procedures**. Disponível em: https://tc.canada.ca/en/aviation/publications/aviation-safety-letter/issue-1-2023/challenges-during-localizer-performance-vertical-guidance-lpv-approach-procedures#. Acesso em: 10 out. 2024.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **1996 Federal Radionavigational Plan**. Springfield, 1996.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B)**. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/afx/afs/afs400/afs410/ads-b. Acesso em: 22 set. 2024.

ESTADOS UNIDOS. Carlos Rodriguez. Federal Aviation Administration (org.). **Wide Area Augmentation System (WAAS) Update**. [S. L.]: Waas Program Overview, 2016. 31 slides, color.

ESTADOS UNIDOS. NAVAL AVIATION SCHOOLS COMMAND. **Introduction to Air Navigation**. Pensacola, 2017.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Satellite Navigation - WAAS - Benefits**. 2024. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/benefits. Acesso em: 11 set. 2024.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Satellite Navigation - WAAS - How It Works**. 2024. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/howitworks. Acesso em: 11 set. 2024.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. . **Satellite Navigation - WAAS - News**. 2024. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas/news. Acesso em: 22 set. 2024.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. . **Supplemental Type Certificates**. Disponível em: https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/stc. Acesso em: 20 out. 2024.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Satellite Navigation - Wide Area Augmentation System (WAAS)**. 2023. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/waas. Acesso em: 11 set. 2024.

ESTADOS UNIDOS. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **WAAS Terms and Definitions**. Disponível em: https://www.nstb.tc.faa.gov/DisplayDefinitions.htm. Acesso em: 11 set. 2024.

ESTADOS UNIDOS. GLOBAL POSITIONING SYSTEM. **Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard.** Washington, 2020.

ESTADOS UNIDOS. NATIONAL AIR AND SPACE AGENCY. **How Does GPS Work?** Disponível em: https://spaceplace.nasa.gov/gps/en/. Acesso em: 21 out. 2024.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **GPS Signal Plan**. Disponível em: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Signal_Plan. Acesso em: 22 set. 2024.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **WAAS Architecture**. Disponível em: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=WAAS_Architecture. Acesso em: 11 set. 2024.

EUROPEAN SPACE AGENCY. **WAAS Performances**. Disponível em: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/WAAS_Performances. Acesso em: 22 set. 2024

EXAME. **Aeroportos brasileiros fecharam 1.804 vezes em 2012**. Disponível em: https://exame.com/ciencia/aeroportos-fecharam-1-804-vezes-em-2012/. Acesso em: 22 out. 2024.

GARMIN. **What is WAAS?** Disponível em: https://www.garmin.com/en-US/aboutgps/waas/. Acesso em: 11 set. 2024.

GIOVANINI, Adenilson. **SBAS: o que é e para que serve?** Disponível em: https://adenilsongiovanini.com.br/blog/sbas-o-que-e-e-para-que-serve/. Acesso em: 11 set. 2024.

GPS. **Augmentation System.** Disponível em: https://www.gps.gov/systems/augmentations/. Acesso em: 21 out. 2024.

GRIFFITH, Cheryl. PECK, Stephen. DIAMOND, Peter. **WAAS Network Time Performance Using WRS Data**, *Proceedings of the 31th Annual Precise Time and Time Interval Systems and Applications Meeting*. Dana Point, California, Dezembro, 1999, pp. 161-172.

HONEYWELL. **The Benefits of LPV Approach Operations for the Airline Operator**. Phoenix: Honeywell, 2019. Color.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Annex 6 – Operation of Aircraft**, 2018.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Seventeenth Meeting of the CAR/SAM Regional Planning and Implementation Group**. Disponível em: https://www.icao.int/SAM/Pages/GREPECAS17.aspx. Acesso em: 22 set. 2024.

KLEPCZYNSKI, William. FENTON, Pat. POWERS, Ed. **Time Distribution Capabilities of the Wide Area Augmentation System (WAAS)**, *Proceedings of the 33th Annual Precise Time and Time Interval Systems and Applications Meeting*. Long Beach, California, Novembro, 2001, pp. 111-120.

LEE, Jiyun. **GPS-Based Aircraft Landing Systems with Enhanced Performance: Beyond Accuracy**. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Filosofia, Stanford University, Stanford, 2005.

MARINHO, Daniel. **GBAS: Pouso de Precisão**. 2013. Disponível em: https://www.jo.eng.br/index.php/118-news/latest-news/268-gbas-pouso-de-precisao. Acesso em: 11 set. 2024.

MARINI-PEREIRA, Leonardo; PULLEN, Sam P.; MORAES, Alison de Oliveira. Reexamining Low-Latitude Ionospheric Error Bounds: An SBAS Approach for Brazil. **IEEE Transactions On Aerospace And Electronic Systems.** [S. L.], p. 674-689. out. 2020. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9219183/authors#authors. Acesso em: 22 set. 2024.

MONICO, J. F. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações.** 2. ed. São Paulo: Editora UNESP. 2008.

NEVES, Gabriel Cavalcanti. **Procedimentos de Aproximação e o Conceito de Aproximação Estabilizada**. 2020. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2020.

PEREIRA, L. M. **O estado da arte do uso do GNSS na aviação civil e os desafios futuros, 2016**. Disponível em: http://docplayer.com.br/14388757-O-estado-da-arte-do-uso-do-gnss-na-aviacao-civil-e-os-desafios-futuros.html. Acesso em: 11 set. 2024.

PEREIRA, Vinícius Amadeu Stuani. **Investigação da Usabilidade do GBAS no Brasil**. 2018. 305 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Cartográficas, Unesp – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2018.

PINHO, Larissa Moreira. **Uso do GNSS na Aviação Civil: Avalização de Diferentes Estratégias de Processamento nas Fases de Navegação, Aproximação e Pouso das Aeronaves**. 2021. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

SATNAV NEWS. Estados Unidos: Federal Aviation Administration, v. 78, 2024. Disponível em: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/SatNavNews_vol78_Summer_2024_Final.pdf. Acesso em: 22 set. 2024.

SCHEMPP, Tim. **WAAS Development Changes Since Commissioning**. Seoul: Raytheon, 2019. Color.

STANFORD UNIVERSITY (org.). **Development of Satellite Navigation for Aviation**. Stanford: Stanford University, 2009.

STANFORD UNIVERSITY (org.). **Maximizing Aviation Benefits from Satellite Navigation**. Stanford: Stanford University, 2012.

WALTER, Todd; SHALLBERG, Karl; ALTSHULER, Eric; WANNER, William; HUGHES, William J.; HARRIS, Chris; STIMMLER, Robert. **WAAS at 15**. Stanford: Raytheon, 2018. 21 p.

WIKIPEDIA. **Wide Area Augmentation System**. 2024. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Wide_Area_Augmentation_System#Timeline. Acesso em: 22 set. 2024.