

**TRANSIÇÃO DA NAVEGAÇÃO CONVENCIONAL À NAVEGAÇÃO
BASEADA EM PERFORMANCE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
GRADUAÇÃO EM AVIAÇÃO CIVIL**

Campus Vila Olímpia

**Orientador: Prof. Francisco José Rezende, Universidade Anhembi
Morumbi**

**Luis Fernando Bernardes, 12522154354
Pedro Luiz Lourenço, 125111357301**

São Paulo
2º semestre, 2022

TRANSIÇÃO DA NAVEGAÇÃO CONVENCIONAL À NAVEGAÇÃO BASEADA EM PERFORMANCE ¹

Luis; Pedro ²
Francisco José Rezende ³

Palavras-chave: PBN. Navegação. GBAS. SBAS. WASS. EGNOS.

ABSTRACT

It was understood that aviation was one of the fastest and most efficient ways to get from one point to another. It is not for nothing that in the 1950s, 1960s and 1970s we had the “Golden Age of Commercial Aviation”. It was at this time that we started to have a significant advance in the way of dealing with air navigation. This article will show the best use of airspace, the way in which the routes were shortened and the evolution of the technology used for greater operational safety in travel, both for cargo and passengers. The objective of this work is to briefly explain the concepts that guide performance-based navigation (PBN); thus, leading to an understanding of its impact on global aviation. It will deal with the history of navigation, a description of current technologies, and a brief cost analysis for the implementation of GBAS at Gran Canaria airport, reaching the final considerations.

INTRODUÇÃO

Tendo as razões da elaboração do trabalho, a primeira foi o ímpeto de analisar de forma sucinta e prática os impactos da navegação baseada em permanece na aviação de forma a mostrar uma visão geral de pesquisas já realizadas. Será tratado a maneira que a navegação era realizada no passado e a evolução durante o tempo. Usar-se-á a pesquisa bibliográfica como método primário para a transcrição do artigo, pois melhor do que apenas uma fonte de informação, são várias, nas quais são encontrados resultados e pontos de vista diferentes, mas que podem levar a dissemelhantes conclusões para o tema do impacto do PBN na aviação global. Além

¹ Trabalho de conclusão do curso de Aviação Civil, Universidade Anhembi Morumbi, 2022.

² Graduandos no curso Aviação Civil da UAM. E-mails: fernando.a2you@gmail.com; pedro.lourenco.luiz99@gmail.com.

³ Professor Mestre em Linguística, Professor da disciplina Fraseologia, do Curso de Aviação Civil. E-mail: fjrezende@anhembi.br

disso, uma revisão literária também é imprescindível para que exista uma reunião de informações que ajudem no desenvolvimento e na conclusão do artigo. No decorrer, serão abordados temas que vão introduzir o assunto de forma simplificada para que se tenha entendimento superficial do tema. Iniciando com os tipos de navegações que já foram usadas durante a história, os tipos de tecnologias novas e as facilidades que trouxeram para a sociedade aeronáutica. Ao final, junto com uma análise aeroportuária econômica, entenderemos se é viável, ou a que prazo se dará viável essa transição para a aviação moderna.

1 SURGIMENTO DO PBN

A realização da navegação, sem ser por meio do GPS era possível? A resposta é, sim! Nos cursos de piloto privado e piloto comercial em sua parte teórica os alunos têm contato com a matéria de navegação na qual abrange-se assuntos como a navegação celestial, visual, estimada e radio navegação. Uma desatualização do sistema de ensino, faz com que as escolas ainda não tenham a obrigação de ensinar o sistema inercial e a navegação por GPS.

É possível discorrer por cada uma dessas navegações de modo que se gastaria páginas e páginas, porém apenas de maneira resumida iremos explicar cada uma delas de acordo com pesquisas feitas em livros didáticos.

Um dos mais antigos modos utilizados, chamado de navegação celestial é literalmente um navegador utilizando um sextante para determinar a altitude de um corpo celestial, em graus, em relação ao horizonte, e a partir daí determinar sua própria localização. (BIANCHINI,2014)

Na navegação visual (ou por contato), um método de navegação mais simples, em que o piloto mantém constante contato visual com o terreno e através de pontos de referência na superfície estabelece a sua navegação. (BIANCHINI,2014) Ou seja, temos um método básico que é usado para ensinar pilotos que estão começando sua carreira na aviação. Na navegação estimada, é um método pelo qual o piloto realizará cálculos os quais vão determinar a posição da aeronave.

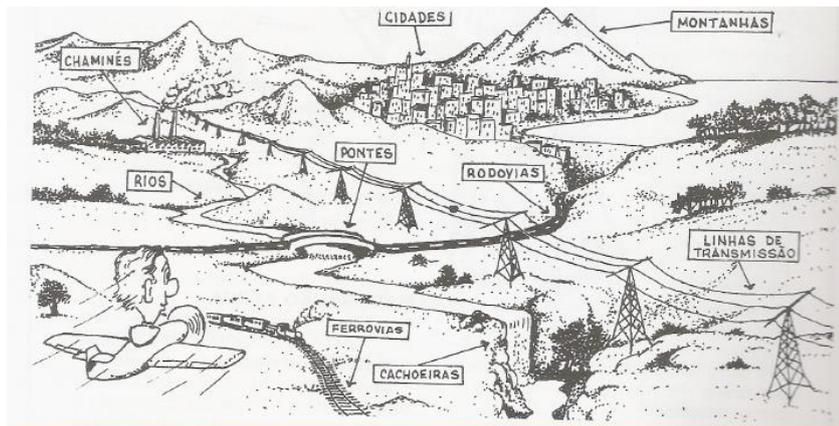


Figura 01: Navegação Visual. Fonte: Aviation Cult

Tem-se como base dessa navegação os instrumentos que são a bússola, relógio e velocímetro. (BIANCHINI,2014) É tido na rádio navegação, nessa que com equipamentos instalados na aeronave, é possível captar ondas de rádio emitidas por estações em terra, e através da interpretação destes instrumentos, o piloto consegue determinar a posição da aeronave.

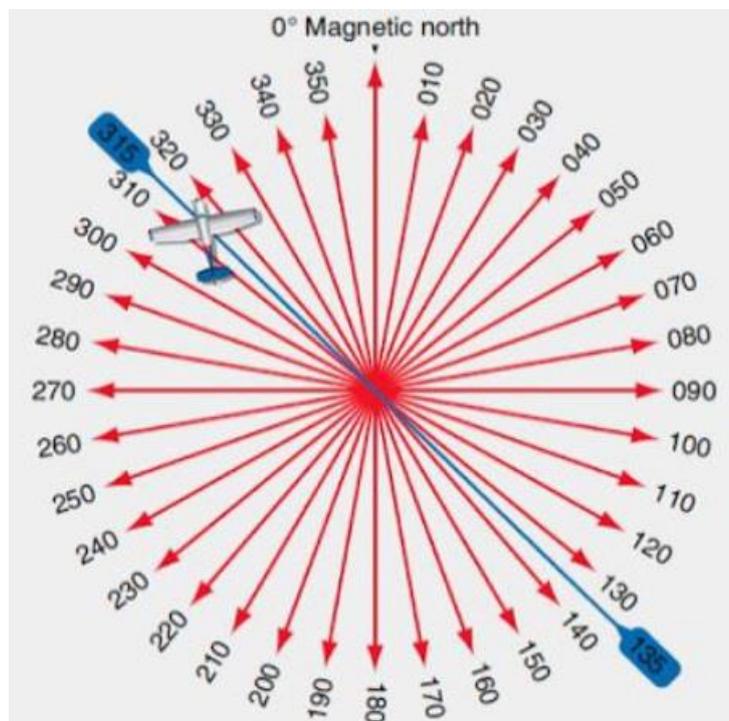


Figura 2: Ilustração das Radiais sistema VOR. Fonte: Aeronautics Guide, 2021.

O sistema de navegação inercial é muito mais preciso que as navegações percorridas até aqui. Temos um sensor giroscópico e um acelerômetro. Um, levando

como referência a rotação da terra, e outro a força da gravidade. Assim é calculado a distância do equador e dos polos e, levando em conta para onde o avião está indo (sentido horário ou anti-horário) da terra.

Para introduzir o PBN, primeiramente é necessário descrever brevemente sobre o GNSS (Global Navigation Satellite System) sistema que determina a posição do indivíduo por meio de satélites. Agora, com essas informações, é tido um suporte para inicializar o conceito.

1.1 Iniciação ao PBN

O conceito de navegação baseada em performance (PBN) especifica que o desempenho do sistema RNAV da aeronave sejam definidos em termos de precisão, integridade, disponibilidade, continuidade e funcionalidade. Necessários para as operações levando em consideração um conceito de espaço aéreo específico, quando apoiado pela infraestrutura de navegação adequada. Nesse contexto, o conceito PBN representa uma mudança de navegação baseada em sensores para navegação baseada em desempenho. (ICAO,2013)

Ou seja, para a familiarização do PBN, temos um conceito tirado da ICAO, no qual temos definido que veio para complementar e até mesmo substituir a “navegação baseada em sensores” que seria a navegação rádio. Desse modo fornecendo diversos benefícios para cada voo dentro da segurança e limitações. Desse modo, temos o seu principal intuito que é utilizar da melhor forma o espaço e o tempo nos céus, conseguindo manejar mais aeronaves em menos área.

Conforme a ICAO, o termo PBN envolve três elementos: infraestrutura, especificações e aplicação. Quando se trata de infraestrutura, temos referência a auxílios de navegação tanto no espaço como na terra, conhecidos no local. Ou seja, para considerarmos a aplicação temos que considerar também a infraestrutura disponível. A especificação mostra o caminho de como conseguir um desempenho minimamente satisfatório. E a tripulação tem o dever de ter ciência de todos os itens únicos para poderem realizar a navegação em determinado local. A aplicação se trata da especificação, da infraestrutura em uma circunstância de procedimentos de voo por instrumento e espaço aéreo para rotas ATS.

1.2 Suas facilidades para a aviação

Houve a inovação e a otimização nas operações aéreas de forma acentuada de modo globalizado, tendo em consideração que antes era necessário ir de um auxílio a outro para realizar uma navegação, e agora sendo possível realizar rotas menores para concluir a viagem.

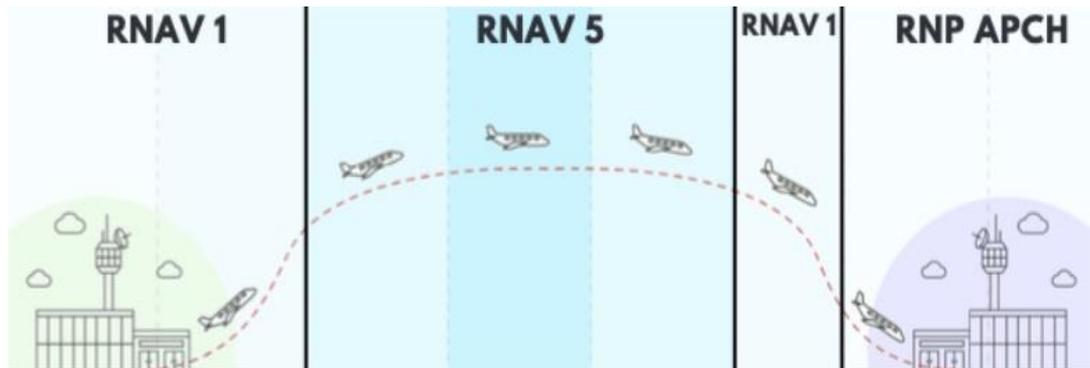


Figura 3: Sistema RNAV. Fonte: Control Academy,2021.

Também, desta forma, pode-se analisar um menor gasto de combustível, conseqüentemente menos emissão de gases poluentes, uma maior flexibilização para o voo e trajetórias de voo muito mais minuciosas. (RONDON; CAPANEMA; FONTES. 2014) Seguindo todos esses pontos positivos, temos atrelados aos mesmos a diminuição de gastos com a implementação de auxílios-rádios, o que é um excelente ponto para as companhias aéreas. Também elevando o nível da segurança operacional e de voos que ocorrem ao mesmo momento em determinado espaço aéreo. Sendo assim, transcrevendo no próximo capítulo os procedimentos RNAV e alguns empecilhos deste e algumas soluções que estão sendo estudadas devido ao PBN.

2 GBAS E RNAV

RNAV é muito utilizado, principalmente no Brasil, no século XXI. Tendo ele 3 classificações que são, NPA (Non precision Approach), APV (Approach with vertical Guidance) e PA (Precision Approach). No caso desse estudo, não é necessário entender a definição de cada classificação, mas sim apenas saber que elas existem. Com o método RNAV a operação permite com que a aeronave possa

percorrer qualquer trajetória. Podendo ocorrer na cobertura de auxílios rádio convencionais, ou mesmo na capacidade dos sistemas de navegação das aeronaves. Sendo esses sistemas independentes de auxílios de solo, exemplos deles são o Sistema de Referência Inercial, Satélite de órbita Global e o Sistema de posicionamento Global. Há um Sistema Gerenciador de Voo (FMS) o qual combina os auxílios rádios com os sistemas de navegação da aeronave. (ICAO, 1999) Usando de exemplo o Brasil, temos que em localidades que o "Instrument Landing System" ou o "Microwave Landing System" não seriam viáveis financeiramente, ou mesmo por conta do terreno. Sendo assim, utilizaram o sistema baseado em navegação por satélite os quais possuem associação com o sistema de aumento de área americano. Somando com a possibilidade de monitoração do sistema embarcado, temos o RNP, que seria um RNAV somado com aquela. Este pode gerar alerta para os pilotos quando sair além dos limites das especificações do PBN. Inclui-se também a possibilidade do avião de realizar aproximações em curvas devido a qualquer fator relevante na área. Esse tipo de tecnologia é basicamente o que veremos frequentemente em breve, logicamente com outras que estão sendo desenvolvidas ao redor do mundo. O ILS (Instrument Landing System) é usado frequentemente, mesmo assim, ainda temos algumas desvantagens na operação do sistema que para aviões que se encontram na curta final, em condições IMC, podendo causar problemas com o arredondamento, com a própria rampa e afetar até mesmo o automatismo. Para minimizar ainda mais esses riscos, o GBAS e o SBAS começaram a ser estudados por conta da navegação baseada em performance.

O GBAS (Ground Based Augmentation System) é um sistema baseado por instrumentos no solo que auxiliam o GNSS que já está acoplado na aeronave. Com a precisão dos instrumentos em solo e no cockpit o avião tem a capacidade de pousar sozinho. Aquele foi desenvolvido para que a aeronave fosse capaz de realizar o pouso com "Categoria I" ou até mesmo "Categoria II e III".

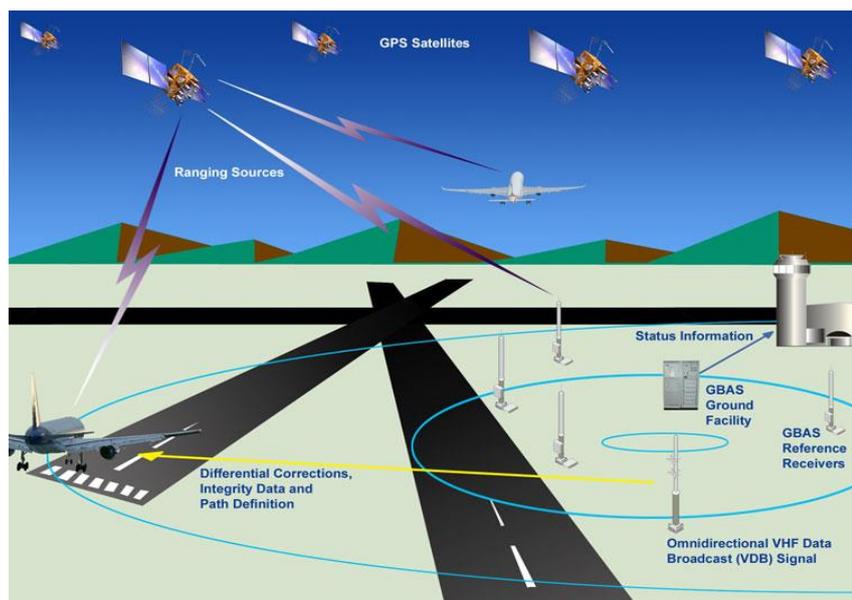


Figura 4: Funcionamento do GBAS. Fonte: Federal Aviation Administration

A estação em solo do GBAS faz o monitoramento de sinal das constelações de satélites num aeródromo, pois visa emitir mensagens de integridade daquela localidade, assim como efetuar correções de alcance e informação de aproximação por meio das emissões de dados no formato VHF. Isso somente para aeronaves dentro do alcance de 37 quilômetros na área de aproximação (área suportada para operações “CAT I”). As informações que contém as correções são enviadas às aeronaves por meio de transmissores VHF. O GBAS é feito por uma estação GBAS, aviônicos instalados nas aeronaves e receptores de referência. Os receptores pegam os sinais dos satélites GNSS, determinam a distância pelo tempo, e passam a diante para a estação GBAS. Essa faz uma mensagem corretiva e a manda por meio de transmissores VHF para o avião (FAA,2014). Utilizando São Paulo como exemplo, temos os nossos principais aeroportos como o de Congonhas, Guarulhos, mas também temos aeródromos próximos e dentro da terminal que caso fosse implementado o sistema, poderia ser feito um aproveitamento da tecnologia para melhorias da aproximação e procedimentos. Isso com certeza é uma situação hipotética, mas que se fosse colocada em prática poderia demonstrar a grandeza e facilidade do sistema GLS (*GBAS Landing System*) comparada com os demais.

3 SBAS, WAAS E EGNOS

O entendimento do sistema GNSS pode parecer difícil, ainda mais por todas as sílabas e complexidade do sistema. Porém, quando tratados de nível de conceito praticamente todos os sistemas utilizam princípios parecidos.

As dinâmicas de funcionamento são muito similares, tanto para áreas maiores (SBAS), como para métodos mais locais (GBAS). A principal diferença é a precisão em detectar erros e transmiti-los.

A partir desse parágrafo, será tratado as diferenças entre os sistemas que envolvem áreas maiores que passam as informações para o utilizador por satélites. Ou seja, serão abordados os sistemas de satélites de aprimoramento: Satellite Based Augmentation Systems (SBAS).

Para basear e nortear, tem-se que a maioria dos GNSS já foram implantados em um pretérito não muito distante. Portanto, caso não seja viável realizar uma manutenção da estrutura, os dados ficarão sem atualizações. Entretanto, a solução achada foi criar maneiras de medir os erros de forma que seja recebido uma informação muito mais precisa do que no passado, sendo assim compensados.

Havia algumas opções que poderiam dar certo, uma seria mandar via rádio por satélites e a outra por estações de solo. Mas, no solo, a área era menor, porém com um sinal de melhor qualidade. Já nos satélites abrangem uma área maio.

Quando tratamos do sistema de satélite, temos alguns lugares estratégicos no solo com algumas bases. Essas pegam as informações disponíveis e visíveis, comparando com as posições reais, desta forma conseguem analisar a defasagem. Após o acontecido, todas as informações são passadas para as antenas, e essas passam para os satélites SBAS.

Os primeiros SBAS e principais são o americano e o Europeu, atendendo pelos nomes WAAS e EGNOS, respectivamente. Principais porque têm uma grande quantidade e densidade de tráfego. Porém, existem outros, alguns inclusive, de uso restrito.

3.1 Sobre o WAAS

Com o WAAS não é necessário o operador realizar outro tipo de treinamento. Pois é entendido que além de similar, é mais fácil que os métodos

convencionais. Tendo um aeródromo publicado com o procedimento e a aeronave certificada, é possível realizar a operação. O piloto sempre é o responsável por verificar os sinais dos satélites. Existe um fornecimento a quem usa o sistema uma capacidade de realizar navegações horizontais e verticais para operação de aproximação. Isso, para todos os usuários e todos os locais que têm a tecnologia, que atualmente está presente em sua maioria na América do Norte.

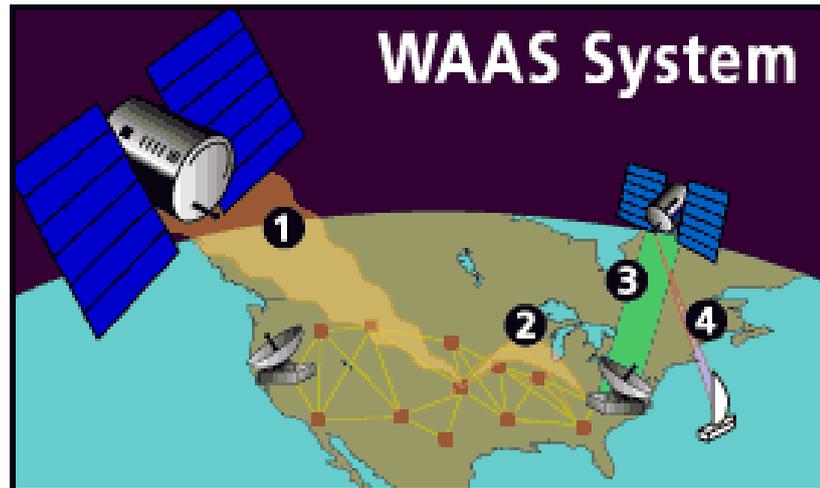


Figura 5: WAAS com sua predominância na América do norte. Fonte: Garmin

3.2 Na Europa, EGNOS

A versão europeia do SBAS chama-se EGNOS e tem funcionamento muito similar ao WAAS a nível operacional. Dessa forma, as nomenclaturas e procedimentos são os mesmos. A União Europeia possui o EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) que fornece um serviço aberto, gratuito e adaptado a aplicações de transporte. (Scusell, 2018)

EGNOS improves GPS over Europe

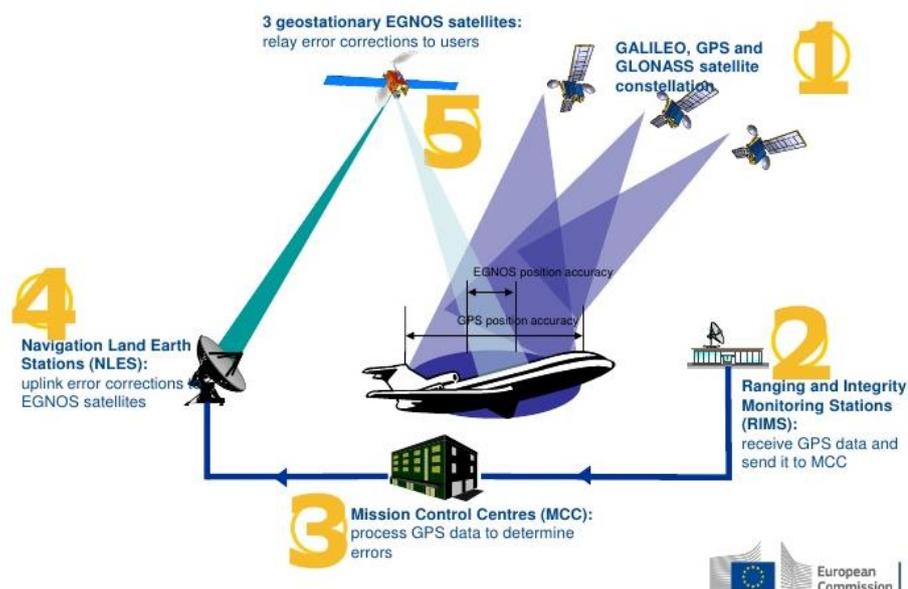


Figura 6: Sistema EGNOS. Fonte: European Commission

Com esses serviços, que estão sendo expandidos para países europeus, é e será necessário um financiamento para o desenvolver das tecnologias e infraestrutura. As medidas usadas (GNSS) são feitas por estações que são implantadas de forma precisa por volta de toda a Europa. Os erros que são medidos, são transferidos para um centro de computação. Neste eles calculam as correções e todos os cálculos realizados são passados para a área de cobertura. E os satélites geoestacionários usados servem como aumento à mensagem originada pelo GNSS.

Logo, temos uma melhora na precisão do posicionamento e na confiabilidade. Como benefício podemos incluir partes críticas do voo, como por exemplo, a aproximação, de forma que entre nas normas da ICAO, pois somente o GNSS não atende aos requisitos mínimos.

4 ANÁLISE DOS CUSTOS PARA A OPERAÇÃO UTILIZANDO COMO EXEMPLO O AEROPORTO DE GRAN CANARIA

Feito a análise de um mestrado escrito por Álvaro Jiménez González que estuda a implantação de um sistema GBAS no aeroporto de Gran Canaria, é possível observar que ao longo prazo a implantação do GBAS sobre o ILS é muito mais vantajosa. Aquele utilizou um capítulo para descrever apenas sobre a viabilidade econômica. Para ambos (ILS E GBAS) foram considerados os custos de instalação e

de manutenção. Observa-se como inicialmente o investimento no GBAS é semelhante ao de dois ILS. No entanto, como progride ao longo do tempo, e devido ao menor custo de manutenção do GBAS, a diferença entre os dois sistemas aumenta. Até 2030, as economias da instalação do GBAS são projetadas em aproximadamente meio milhão de euros. (González, 2019) O autor do mestrado, demonstrou com gráficos, a implantação do GBAS no lugar do ILS, de forma a melhorar o entendimento da pesquisa. No gráfico temos no eixo X os anos e no eixo Y os custos, nos quais já contém a manutenção. Os dados mostram que os custos do ILS começam a ficar cada vez maiores com o decorrer do tempo, enquanto o do GBAS vai subindo de forma não tão considerável. Agora que temos uma visão geral sobre o estudo feito por Álvaro Jiménez, analisar-se-á os números específicos.

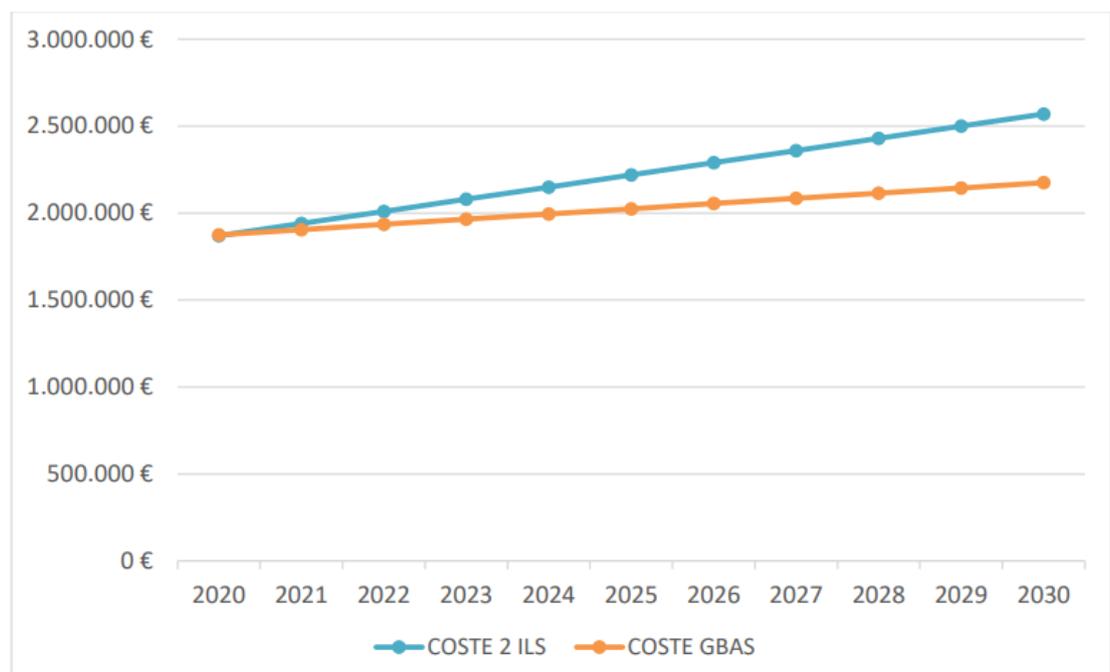


Gráfico 01: Análise ILS e GBAS. Fonte: Álvaro Jiménez González (2019, p. 147).

4.1 Análise dos dados fornecidos pela pesquisa de Álvaro Jiménez González

O pesquisador realizou um orçamento de modo a que o leitor pudesse entender de maneira sucinta. Estabeleceu-se um consumidor padrão (mais utilizado pelos principais aeroportos do mundo), que no caso foi a Honeywell. Utilizou-se para concluir seu pensamento 3 linhas de pesquisa para os custos. O GBAS, obra civis, instalação elétrica e comunicações. Tudo isso para chegar à sua conclusão. Os

valores foram dados em Euros no ano de 2019. Visto isso, a instalação completa naquele ano do GBAS seria de 1.845.000 de euros, sendo a manutenção anual de 30.000 euros. Já a instalação do ILS estaria no preço de 900.000 euros com uma manutenção anual de 40.000 euros.

Com esses valores, já é possível perceber que em algum momento o custo da manutenção do ILS, uma hora ou outra, sairia mais caro do que a do GBAS. Mesmo com o valor inicial do investimento para a sua construção seja maior.

Para calcular nesse caso específico, utilizamos uma equação de primeiro grau simples. Devido a algumas especificidades do aeroporto, o estudo utilizou 2 ILS comparando com 1 GBAS. O motivo pelo qual o autor considera 2 Instrument Landing System é porque para termos uma precisão de CAT 1 em todas as cabeceiras da pista, seria necessário a instalação de 2 ILS, porém com apenas um GBAS é possível ter as mesmas qualidades e serviços.

Mesmo o estudo tendo o gráfico, não se foi especificado o tempo necessário para começar a igualar os custos. Sendo assim utilizaremos a equação abaixo para análise.

$$1.845.000 + (30.000 \times Y) = 1.800.000 + (80.000 \times Y)$$

$$45.000 = 50.000 \times Y$$

$$Y = 0,9 \text{ do ano}$$

Figura 07: Equação realizada com os dados de Álvaro Jiménez Fonte: Pedro Luiz Lourenço, 2022

Dessa maneira, no estudo do aeroporto especificado temos que em menos de um ano os custos já seriam igualados. O que abre margem para ser falado que a União Europeia está próxima de analisar possíveis trocas para uma melhor performance das aeronaves, navegações e infraestrutura dos aeroportos com as atualizações aviônicas.

Já com a teoria da navegação baseada em performance relativamente vista e analisada, juntamente com os custos para a operação, teríamos que realizar a

homologação de certificação das aeronaves e das pessoas. O que deveria ser realizado de forma simples e prática.

4.2 Homologação de pessoal e certificação de aeronaves

Os fundamentos operacionais do PBN são bem claros e relativamente simples, não devendo ser complicada a aprovação operacional. Contudo, a transição para este novo tipo de tecnologia, que requer outros tipos de operações e novos conhecimentos da inovação utilizada, exige uma cautela maior. Sendo assim, o conceito PBN requer que a aeronave atenda certos requisitos de aeronavegabilidade, incluindo a performance e funcionalidade do sistema de navegação ser elegível para uma aplicação específica e que o operador tenha aprovação operacional do órgão regulador antes do sistema ser utilizado.

Uma aprovação operacional do PBN autoriza um operador que execute estas operações com uma aeronave específica em um espaço aéreo designado. Esta aprovação só poderá ser emitida caso a companhia, por exemplo, tenha demonstrado ao órgão regulador do Estado que o equipamento está de acordo com os requisitos operacionais e de aeronavegabilidade. Isso garante que a aeronave esteja conforme os requisitos de segurança de voo para as funções e performance definidas em especificações de navegação, conforme documentos específicos da ICAO, FAA e EASA. Além disso, é necessário ter um cronograma com procedimentos de manutenção, treinamento adequado e testes de equipamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entende-se pelo que foi visto com o trabalho e com a análise feita, o maior impacto com o PBN na aviação global será no médio-longo prazo. Foram abordados todos os temas necessários para o entendimento do artigo, desde as navegações primordiais realizadas no passado, como até as que estão sendo utilizadas na atualidade. Com todos os novos sistemas, é possível realizar estudos para entender se realmente a transição para as novas tecnologias será viável, se for feita de maneira rápida. Porém, como já mostrado em estudos é possível perceber que o curto prazo não é viável. Entretanto, se houver paciência terá uma considerável redução de custos e aumento da confiabilidade, assim como os já citados como benefícios do PBN, mas

de forma mais acentuada. Agilizando os tráfegos aéreos e aumentando a quantidade de voos que podem acontecer simultaneamente sem infringir a segurança de voo. Diminuindo o consumo de combustível e da emissão de gases poluentes. Na aviação, a transição pode ser algo não tão rápido, pois dependemos de diversos fatores e entre eles está a segurança de voo. A aviação já tem um número alto de confiabilidade. Se a mudança for realizada de forma brusca, talvez se tenha problemas que não eram esperados, e muito menos desejado.

REFERÊNCIAS

SILVA, Weverton da Costa. **GBAS: FUNDAMENTOS, SIMULAÇÕES E ANÁLISES DE DISPONIBILIDADE EM FUNÇÃO DO SIGMA VIG.** 2020. Dissertação (Pós-Graduação em ciência cartográfica) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2020.

SCUSSEL, Marcelo. **NAVEGAÇÃO AÉREA BASEADA EM PERFORMANCE (PBN): VANTAGENS FRENTE À NAVEGAÇÃO AÉREA CONVENCIONAL.** 2018. Dissertação (Pós-Graduação em geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

PAMPLONA, Daniel Alberto. **FATORES HUMANOS RELACIONADOS À IMPLANTAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS BASEADOS EM PERFORMANCE (PBN) NA AVIAÇÃO.** 2015. Artigo - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, OURO PRETO, 2015.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) STANDART POSITIONING SERVICE (SPS) PERFORMANCE ANALYSIS REPORT.** ATLANTIC CITY, NJ.: FAA, JAN 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.

GONZÁLEZ, Álvaro Jiménez. **Estudio y análisis para la implantación de un sistema GBAS en el Aeropuerto de Gran Canaria.** 2019. Mestrado (Escuela Técnica Superior de Ingeniería) - Universidad de Sevilla, Sevilla, 2019.

MARTINS, Robson Zandoná. **SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO AÉREA: O BENEFÍCIO QUE O SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GNSS PROPORCIONOU À AVIAÇÃO EXECUTIVA.** 2020. Monografia (Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas) - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, PALHOÇA, 2020.

MICHELS, Thiago Augusto. **EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE NAVEGAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DO PBN NO BRASIL.** 2018. Monografia (Curso de graduação em Ciências Aeronáuticas) - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA, Palhoça, 2018.

BIANCHINI, Denis. **Navegação Aérea Visual.** 5. ed. rev. São Paulo: Bianch, 2014.

BIANCHINI, Denis. **Navegação Aérea por Instrumentos.** São Paulo: Bianch, 2014.

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

