

**A EVOLUÇÃO DOS AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO E A SUA RELAÇÃO COM A
SEGURANÇA OPERACIONAL NOS VOOS DE NAVEGAÇÃO POR
INSTRUMENTOS****Rafael Hoffmann Zibetti¹****Orlando Flávio Silva²****RESUMO**

Desde o início, a aviação sofreu diversas mudanças em diferentes aspectos. Muitas dessas mudanças tiveram um objetivo em comum, que era o de deixar o meio aeronáutico mais seguro e colocar o risco operacional em um nível cada vez mais aceitável. O presente trabalho buscou entender o avanço dos equipamentos de auxílio à navegação e a sua relação com o aumento da segurança operacional nos voos por instrumentos ao longo dos anos. Foi realizada uma pesquisa exploratória bibliográfica e qualitativa, com a qual foi possível identificar os principais auxílios e sistemas de navegação, bem como perceber e estabelecer uma relação proporcional entre a aplicação de tais tecnologias e uma melhoria na segurança operacional nesse tipo de operação, ou seja, foi possível identificar avanços positivos na segurança operacional nos voos por instrumentos em concordância ao surgimento de novos sistemas e equipamentos de navegação.

Palavras-chave: Aviação. Navegação. Segurança. Instrumentos.

¹ Bacharel em Ciências Aeronáuticas (Unisul) (2021.2). E-mail: rafaelh.zibetti@gmail.com

² Professor. Especialista. Curso de Ciências Aeronáuticas (Unisul). E-mail: orlando.flavio@animaeducacao.com.br

THE EVOLUTION OF NAVIGATION AID AND ITS RELATIONSHIP WITH OPERATIONAL SAFETY IN NAVIGATION FLIGHTS BY INSTRUMENTS

ABSTRACT

Since the beginning, the aviation passed through many changes in different aspects. Many of these changes had a common goal, that it was to make the aeronautical environment safer and to put the operational risk in increasingly acceptable level. This study had the goal of understanding the nav-aids equipment advancement and its relationship with the operational safety increasement in the instrument flight through the years. It was accomplished an exploratory bibliographical and qualitative research, with which it was possible to identify the main nav-aids and navigation systems, as well as perceive a proportional relation between the application of these technologies and an operational safety improvement of this kind of operation. In other words, it was possible to identify positive advances in operational safety in the instrument flights in line with the emergence of new systems and navigation equipment.

Keywords: Aviation. Navigation. Safety. Instruments.

1 INTRODUÇÃO

A aviação teve o seu início no dia 23 de outubro de 1906, data em qual Alberto Santos Dumont colocou o seu 14-BIS no céu francês por meios próprios e sem o auxílio de qualquer dispositivo externo adicional à tração proporcionada pelo motor do avião, conforme comenta FUKS (2021). Desde esse dia, a aviação sofreu diversas transformações, sobretudo nos períodos da Primeira e Segunda Guerra Mundial, em que o avanço tecnológico no setor subia em uma escala exponencial, visto a necessidade que se tinha dessas belas máquinas, que tinham a capacidade de cruzar os céus, para auxiliar as suas nações.

Entretanto, mudanças significativas na aviação também ocorreram em outros períodos, nos quais em que se buscava a melhoria da eficiência e confiabilidade nos meios de navegação, o que se tornou cada vez mais necessário

com a popularização desse meio de transporte e com a realidade de com ele cruzar províncias e fronteiras. Essas mudanças chegaram em um nível em que não se pensava mais em voar olhando para o solo em busca de referências visuais ou para o céu analisando as constelações para se localizar, mas sim, em ser possível voar independente das condições de teto e visibilidade, o que viria a ser de fato o voo por instrumentos, conforme comenta Erica (2020).

Com a aplicação das tecnologias que foram possibilitando voar sobre as *Instruments Flight Rules* – Regras de Voo por Instrumentos –, as condições de voo mudaram bruscamente com o passar do tempo, e, visando isso, esse trabalho buscou entender como todas essas mudanças afetaram – no sentido de melhorar – as condições de segurança operacional para esse tipo de voo, apresentando alguns avanços tecnológicos atingidos quanto aos auxílios à navegação ao longo do tempo.

1.1 PROBLEMA

Como a evolução e a implementação dos equipamentos e sistemas de auxílio à navegação transformaram o nível de segurança operacional nos voos de navegação por instrumentos?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Compreender a relação existente entre a evolução e implementação dos equipamentos e sistemas de auxílio à navegação com a segurança operacional nos voos de navegação por instrumentos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o histórico de evolução dos equipamentos de auxílio à navegação, criando uma linha do tempo referente às suas implementações na aviação.
- Analisar os índices de segurança operacional em voos de navegação por instrumentos nos períodos de implementação de novos auxílios à navegação.
- Identificar a relação existente entre a implementação dos auxílios à navegação analisados e os níveis de segurança operacional nos voos de navegação por instrumentos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Ao longo dos anos, a aviação mudou e se aprimorou em todas as suas instâncias, na fabricação de aeronaves, em equipamentos de comunicação e navegação, nas manutenções, nos procedimentos de emergência e até mesmo nos processos de embarque e desembarque de passageiros. Como percebe-se, as mudanças e melhorias na aviação atingiram aspectos tanto técnicos e complexos, quanto os mais simples, mas que fazem a diferença no dia a dia da aviação.

O que se percebe em todas essas modificações é que, das mais simples às mais complexas, em todos os casos, a segurança, seja operacional ou contra atos de interferência ilícitas, também foi afetada, sendo melhorado o seu nível. E assim, também aconteceu com os equipamentos de auxílio à navegação, os quais sofreram grandes mudanças e melhorias nas últimas décadas.

Segundo Griffith (2021), 48% dos acidentes aeronáuticos fatais ocorridos entre os anos de 2007 e 2016 foram eventos decorrentes das fases de aproximação e pouso das aeronaves. Levando em consideração que essa fase do voo representa menos de 5% do total de tempo de voo, conforme também comenta o autor, percebe-se que esta é uma fase crítica e que merece atenção, principalmente quando se fala em voo *IFR*.

Visto isso, é válido ressaltar a importância de se estudar e aprofundar a relação existente entre os avanços que os equipamentos de auxílio à navegação sofreram nos últimos anos e como isso interferiu no nível de segurança operacional no voo por instrumentos, sendo importante buscar essa relação não somente nas fases de aproximação e pouso, mas assim como em todas as etapas que compreendem o voo por instrumentos, o voo em que a atenção e confiança deve ser voltada totalmente para os instrumentos do painel.

1.4 METODOLOGIA

Considerando o tipo de pesquisa, o procedimento e o tipo de abordagem, o trabalho realizado tratou-se de uma pesquisa exploratória bibliográfica e qualitativa.

1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa

De acordo com Coelho (2019), uma pesquisa exploratória possui o objetivo de “proporcionar uma maior familiaridade com um problema” e utiliza de elementos bibliográficos para isso. Além disso, a autora ainda comenta que a pesquisa bibliográfica se trata de um estudo que utiliza materiais já publicados, fazendo uma leitura e análise de diversos materiais existentes sobre o tema. E por fim, a pesquisa foi identificada como qualitativa por analisar o conteúdo dos dados que foram encontrados, sem a necessidade de quantificá-los ou criar estatísticas.

1.4.2 Materiais e métodos

Por ter se tratado de uma pesquisa exploratória bibliográfica e qualitativa, foram utilizados materiais bibliográficos e documentais para a coleta de dados, como por exemplo, artigos publicados, livros digitais, base de dados de acidentes e incidentes aeronáuticos do CENIPA, entre outros. O método aplicado

durante a pesquisa foi uma coleta de dados do surgimento dos principais equipamentos de auxílios à navegação e posterior análise desses dados.

1.4.3 Procedimento de análise de dados

Após a coleta dos dados, isto é, as pesquisas sobre a evolução dos equipamentos de auxílio à navegação, foi realizado um comparativo entre todos os equipamentos desenvolvidos ao longo dos anos, identificando as melhorias e o aumento da precisão que foram sendo atingidos por esses equipamentos. Por fim, este comparativo dos equipamentos foi utilizado para relacionar com a melhoria da segurança operacional nos voos por instrumentos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 REGRAS DE VOO POR INSTRUMENTOS

A Regra de Voo por Instrumentos, aplicada no voo e popularmente conhecida como voo *IFR*, é o voo em que o piloto em comando utiliza instrumentos a bordo da aeronave que se comunicam com equipamentos de auxílio à navegação instalados no solo ou presentes no espaço (no caso os satélites) para se balizar e identificar a sua posição, não necessitando de contato visual com o solo e/ou com referências visuais. Essas regras foram criadas para que fosse possível voar em *IMC (Instrument Meteorological Conditions)*, as quais, segundo Erica (2020), é definido como o tempo em que as condições para o voo estão abaixo dos mínimos estabelecidos para o voo visual, seguindo as *VFR – Visual Flight Rules*, Regras de Voo Visual.

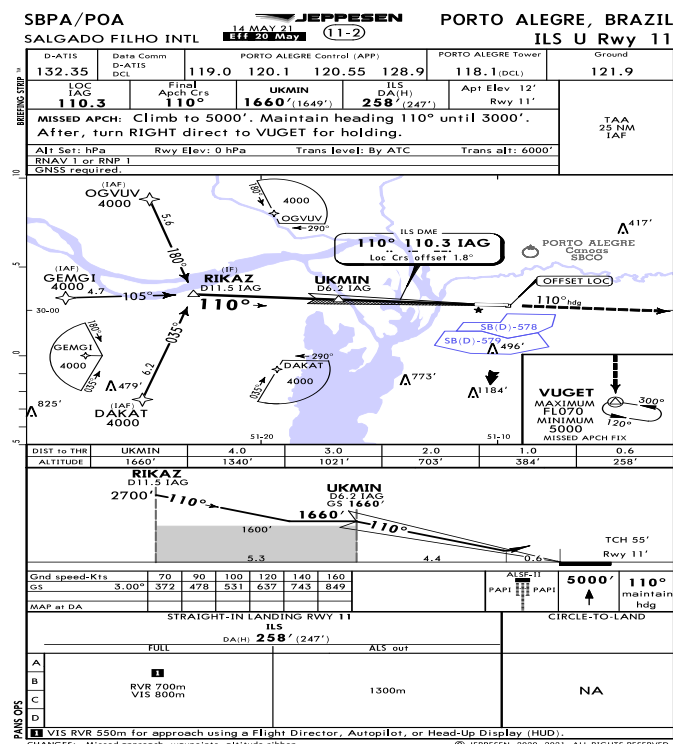
Esses equipamentos trouxeram grandes avanços para a aviação, em que se deixou de olhar para o solo procurando referências visuais ou para o céu procurando constelações que fornecessem alguma informação útil sobre a posição da aeronave, e passou-se a olhar especificamente para o painel da aeronave. Além disso ter deixado o voo mais seguro, em que a partir deste

momento se podia ter certeza da posição da aeronave, também fez com que as condições meteorológicas – teto e visibilidade – não fossem cruciais para a realização do voo, isto é, com esses equipamentos os aviões passaram a ter a capacidade de voar independentemente do valor de visibilidade horizontal e vertical, afinal, os olhos dos pilotos começaram a estar voltados para o painel, e não mais para a parte de fora do avião.

Para esses voos, procedimentos padrões a serem seguidos pelos pilotos são publicados pelos órgãos competentes, a fim de padronizar os procedimentos de voo e garantir a segurança operacional do voo, definindo os limites laterais e verticais de cada etapa/procedimento do voo. Conforme SkyBrary (2021), seguindo as regras de voo por instrumentos e tais procedimentos, o piloto está assegurado de uma altitude mínima de segurança de 600 metros (2000 ft) sobre regiões montanhosas e 300 metros (1000 ft) sobre as demais áreas. Isso se deve ao fato de que, voando por instrumentos, não é obrigatório que o piloto em comando tenha contato visual com solo e ainda mais conhecer os obstáculos da região onde voa, por isso, através dos procedimentos publicados ou das instruções passadas pelo Controle de Tráfego Aéreo – ATC, ele é assegurado de uma margem de segurança desses obstáculos, podendo voar sem contato visual algum com o solo e confiando somente nos instrumentos que possui a bordo, conforme comenta ABAG (2018).

A Figura 1 a seguir apresenta um exemplo de uma carta Jeppesen de aproximação por instrumentos no Aeroporto Internacional Salgado Filho, Porto Alegre/RS. Conforme pode-se ver, a carta apresenta um padrão das ações que devem ser tomadas e as condições de voo que devem ser mantidas, como por exemplo rumo e altitude, durante a realização do procedimento em questão.

Figura 2 - Exemplo Procedimento ILS



Fonte: Jeppesen Charts, 2021.

2.2. AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO AÉREA

Segundo ANAC (2021), os auxílios à navegação aérea são os “equipamentos destinados a proporcionar apoio às aeronaves para a sua navegação em rota, áreas de controle de terminal (TMA) e em suas manobras de pouso e decolagem”. Os auxílios à navegação são classificados como auxílios rádio e auxílios visuais luminosos.

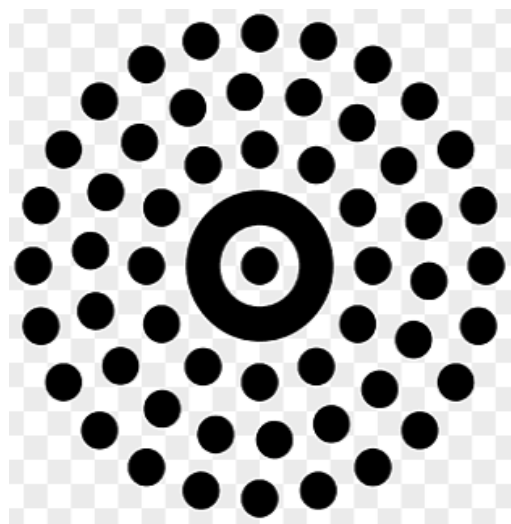
2.2.1. Auxílios rádios

2.2.1.1. NDB – Non Directional Beacon

O NDB, Rádio Farol Não Direcional, é um equipamento instalado no solo com a capacidade de emitir ondas de rádio de baixa frequência em todas as direções em transmissão circular. Conforme Jackymann (2018), o Anexo 10 da ICAO (o qual percorre as telecomunicações aeronáuticas) estabelece a faixa de frequência do NDB de 190kHz a 1750Khz, contudo, os NDB's utilizados para a navegação na América trabalham na faixa de 190kHz a 535kHz.

Na Figura 2 a seguir é possível identificar o padrão de transmissão de uma estação *NDB*:

Figura 3 - Representação da transmissão do *NDB*



Fonte: PNGWING, 2020.

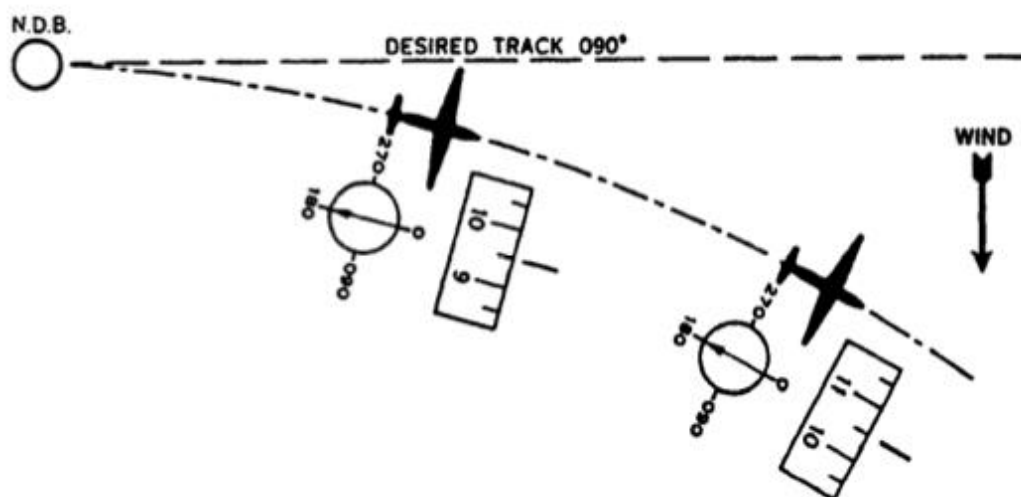
As ondas de rádio emitidas pela estação *NDB* são recebidas pelo equipamento de bordo *ADF*, *Automatic Direction Finder*. Este último é composto por duas antenas responsáveis por receber de fato o sinal, uma fixa e outra rotativa, conforme comenta a *Civil Aviation Safety Australian Authority – CASA* (2020). Essas duas antenas estão conectadas ao sistema que indica para o piloto no painel através de um instrumento com ponteiro, o *ADF*, a direção em que está sendo recebido o sinal da frequência configurada, ou seja, indica a direção em que está localizada a estação *NDB*.

Este tipo de equipamento foi muito utilizado nos primórdios da navegação, porém, foi entrando em desuso com o avanço de outros equipamentos mais precisos e confiáveis, visto que o *NDB* não possuía alto grau de confiabilidade, como será visto a seguir. Entretanto, este equipamento ainda é visto presente em alguns procedimentos de aproximação e saída por instrumentos, e inclusive podendo ser utilizado em rota.

Para se conhecer a posição exata de uma aeronave em um plano horizontal, sem considerar distância lateral e vertical da estação, outro equipamento deve ser utilizado, visto que o *ADF* indica a posição relativa da

aeronave em relação à antena do *NDB*. A Figura 4 a seguir demonstra com detalhes esta associação de equipamentos que se faz necessária:

Figura 5 - Funcionamento do *NDB*



Fonte: CASA - Civil Aviation Safety Australian Authority, 2020.

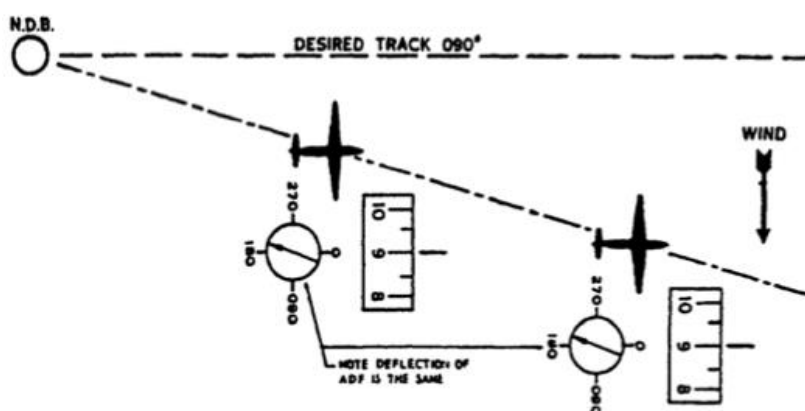
Como é possível verificar na imagem acima, o uso em conjunto do *ADF* com a bússola se faz necessário para manter o rumo pretendido, não sendo suficiente somente a indicação do *ADF*, visto que é uma indicação relativa, e não exata sobre a posição da aeronave.

Fazendo o uso conjunto do *ADF* com a bússola (o que inclusive pode ser feito utilizando o do tipo limbo móvel ou o *RMI* - *Radio Magnetic Indicator*), é possível voar sobre a trajetória desejada, identificando o rumo de afastamento ou aproximação da estação e a proa necessária para manter tal rumo. Contudo, voando em condições com vento, é possível identificar que, durante o afastamento da estação, o erro entre o rumo pretendido e o rumo voado tende-se a ficar cada vez maior se não houver correções, conforme mostra a Figura 4 a seguir:

Como é possível verificar na Figura 4, em algumas situações, o voo balizado por uma estação *NDB* requer muita atenção, dando margens significativas para erros que, por mais que estejam estáveis no painel da aeronave, estão na verdade se tornando cada vez maiores.

Além disso, somente a disponibilidade do *NDB* e *ADF* não satisfaz a condição de se localizar em meios de rumo magnético em relação à estação. Isto acontece devido ao fato de que as ondas emitidas pelo *NDB* são não direcionais, ou seja, são emitidas em todas as direções em formato circular, não sendo possível identificar a radial (De 000° a 359°) que está sendo recebida no momento, o que por exemplo acontece com o uso do *VOR*.

Figura 6 - Efeito do vento no uso do *NDB*



Fonte: CASA - Civil Aviation Safety Australian Authority, 2020.

Além disso, conforme Houston (2019), adicionados à essa questão que torna o voo com o *NDB* complicado e trabalhoso, ainda são associados outros pontos negativos, como seguem:

- Reflexão da Ionosfera: Os sinais emitidos pela estação *NDB* que chegam à camada da ionosfera são refletidos de volta para a terra, encontrando outros sinais no meio do caminho e causando interferência, especialmente nos períodos do nascer e pôr do sol;
- Interferência elétrica: A agulha do *ADF* pode sofrer interferências e realizar indicações erradas em áreas de atividades elétricas ativas, como por exemplo nas proximidades de uma tempestade;
- Interferência de terrenos: Os terrenos entre a estação e a aeronave podem interferir no sinal, causando distorções e reflexões dependendo do nivelamento do campo;

- Erro de curva: As curvas da aeronave podem comprometer a posição da antena rotativa, o que pode resultar em indicações erradas captadas pelo *ADF*.

Os erros encontrados no uso do *ADF* são gerados principalmente devido ao fato das ondas geradas serem não direcionais e pela baixa faixa de frequências utilizadas. Além disso, outro ponto muito importante a se notar quando se pretende voar balizado por um *NDB* é o funcionamento da estação. O *ADF* não possui nenhuma indicação no instrumento se está ou não recebendo algum sinal, ficando a cargo do piloto checar o recebimento sonoro do Código Morse referente à identificação daquela estação.

2.2.1.2. *VOR – Very High Frequency Omni-Directional Range*

O *VOR*, Rádio Farol Omnidirecional de Frequência Muito Alta é, assim como o *NDB*, um equipamento instalado em solo para balizar aeronaves em voo e auxiliar na sua localização no espaço aéreo através da emissão de ondas de rádio em alta frequência, de 108.0 a 117.95MHz, conforme a *FAA – Federal Aviation Administration* (2021). O *VOR* veio ao mercado com muitos avanços em relação ao *NDB*, tentando suprir algumas das falhas apresentadas por esse último.

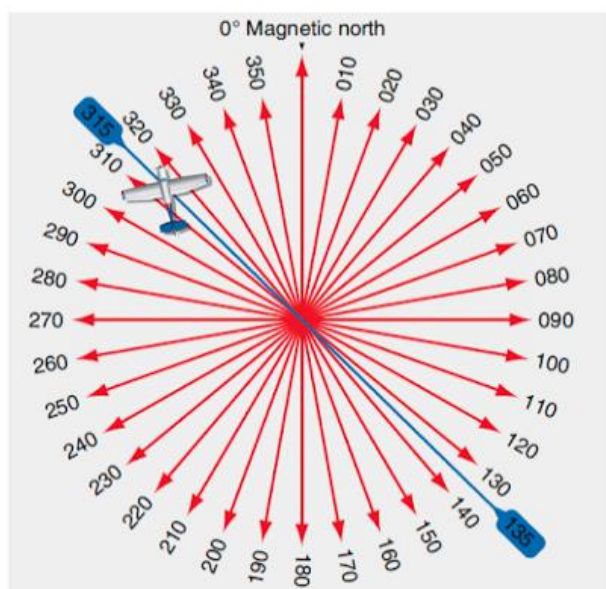
O primeiro avanço do *VOR* em relação ao *NDB* começa pelo nome, pois sendo um equipamento de *Very High Frequency*, consegue trabalhar eliminando boa parte das interferências causadas ao *NDB* em consequência à sua baixa frequência de trabalho. Além disso, sendo omnidirecional, emite ondas de rádio em todas as direções de forma direta, e não circular, caracterizadas pela magnética em relação à estação, o que é chamado de radial. Além disso, os instrumentos receptores de *VOR* a bordo da aeronave possuem indicação de recebimento ou não do sinal da estação, possibilitando uma checagem visual rápida da integridade do sinal por parte do piloto.

De acordo com Houston (2019), o *VOR*, alinhado com o norte magnético, funciona emitindo dois sinais, um deles variável com uma varredura de 360° e um de referência. A partir da diferença entre esses dois sinais, o equipamento receptor de *VOR* a bordo da aeronave, é capaz de demonstrar de forma precisa a

radial (a linha magnética por qual se está passando no momento em relação à estação). O VOR ainda pode ser instalado com um *DME – Distance Measuring Equipment* –, e, sendo instalado na aeronave também, esta pode receber a informação conjunta da presente radial e distância em relação à estação, sendo possível identificar a posição exata da aeronave no momento.

A Figura 5 representa o padrão de transmissão de uma estação VOR, assim como a identificação das radiais:

Figura 7 - Funcionamento do VOR



Fonte: Aeronautics Guide, 2021.

Devido ao bom funcionamento do VOR e o seu grande uso tanto em procedimentos de saída e aproximação por instrumentos quanto no voo em rota até os dias de hoje, se encontram maiores dados sobre a eficiência e precisão desse equipamento. Segundo *Flight Literacy* (2021), a precisão do alinhamento das radiais de um VOR são de $\pm 1^\circ$, podendo haver erro no recebimento de no máximo $\pm 4^\circ$. Porém, essa precisão depende do bom funcionamento do equipamento receptor e pode ser prejudicada quando voando muito próximo da estação, pois, como se pode perceber na imagem acima, quanto mais próximo da estação, menor a distância entre as radiais.

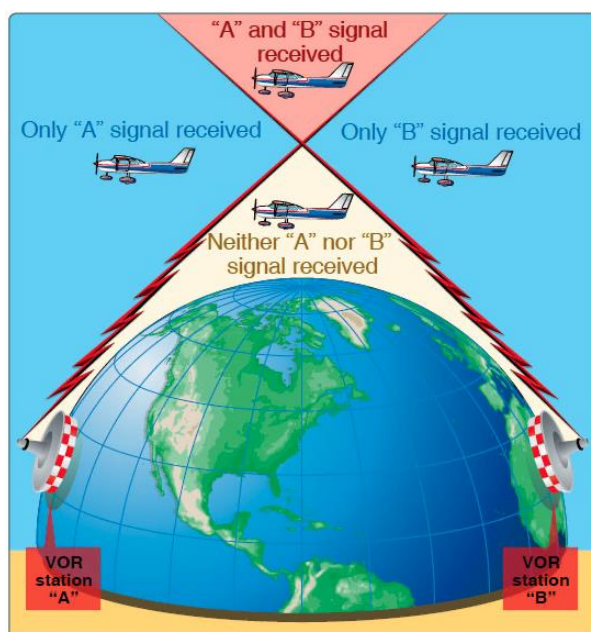
Segundo Houston (2019), existem três tipos de VOR:

- *High*: Alcance de até 60 000ft e 130NM;

- *Low*: Alcance de até 18 000ft e 40NM;
- *Terminal*: Alcance de até 12 000ft e 25NM.

Devido à essa versatilidade, como já comentado, o equipamento é utilizado tanto em procedimentos em áreas terminais quanto no voo em rota. Com os dados apresentados acima, se percebe que quanto maior a altitude, maior o alcance do equipamento. Isso pode ser explicado de forma clara com a Figura 6 a seguir:

Figura 8 - Alcance de recepção do VOR



Fonte: *Flight Literacy*, 2021.

Apesar de todas as vantagens e precisões acerca do VOR listadas aqui, este equipamento também possui seus defeitos, assim com o NDB, porém em uma escala menor. Como mostrado na imagem acima e conforme comenta Houston (2019), o VOR ainda é um equipamento de "linha de visão" da aeronave para funcionar bem, podendo haver erros significativos ou perda de sinal quando voando à baixa altura ou em regiões montanhosas. E assim como o NDB, no VOR também existe o chamado Cone do Silêncio, região acima da antena transmissora em que ocorre perda do sinal enquanto ocorre o seu bloqueio, devido ao fato de que naquela região a aeronave não recebe nenhuma radial emitida pela antena.

A autora ainda complementa que o VOR corre o risco de extinção pela FAA frente à popularização de novas tecnologias aplicadas à aviação, como por

exemplo o *GPS*. Vale lembrar que no Brasil, muitos aeroportos, apesar de possuírem procedimentos publicados utilizando outras tecnologias, ainda mantêm ativos e em uso os procedimentos de aproximação e saída por instrumentos utilizando os *VOR*'s disponíveis nos aeroportos.

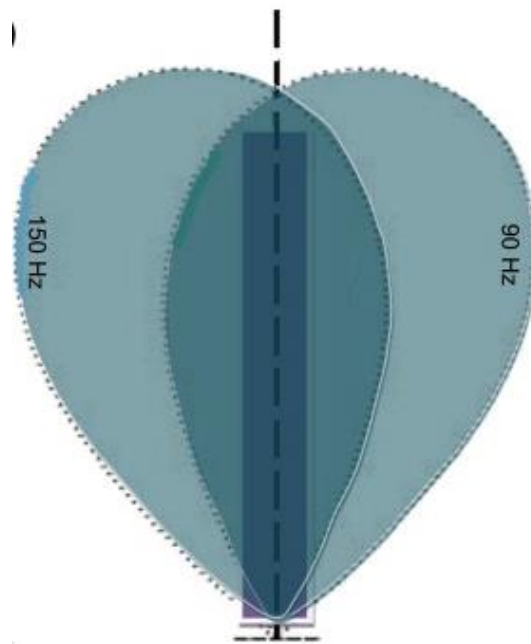
2.2.1.3. ILS – *Instrument Landing System*

Passado pelo *NDB* e *VOR*, os dois principais equipamentos de auxílio à navegação que entraram no mundo aeronáutico para auxiliar e tornar mais seguros os voos por instrumentos, chega o momento de um equipamento de alta precisão para uso nos procedimentos de pouso.

Como comentado, o *VOR* também é utilizado em procedimentos de pouso, porém, é classificado como instrumento de não precisão, devido ao fato de a maioria dos *VOR*'s estarem localizados ao lado na pista, o que não fornece a trajetória exata do eixo da pista e por não fornecer nenhuma guia vertical de auxílio ao piloto. Já o *ILS*, o sistema de pouso por instrumentos, fornece a trajetória ideal a se seguir lateralmente e verticalmente na aproximação final afim de chegar no ponto de toque ideal da pista para pouso.

Segundo SKYbray (2014), as trajetórias vertical e lateral são fornecidas de forma independente por dois subsistemas. Para o plano horizontal, é o *Localizer* (*LOC*) que fornece a trajetória lateral ideal para seguir e realizar a aproximação com a aeronave alinhada perfeitamente com o eixo da pista. O *LOC* é instalado alinhado com a pista e na cabeceira oposta da aproximação, e através da geração de dois sinais de 90Hz e 150Hz que são direcionados do eixo para fora da pista (direita e esquerda, cada sinal para um lado), e que se cancelam exatamente no alinhamento da pista, é gerado para o piloto a informação da trajetória ideal, havendo a indicação de desvios para qualquer um dos lados, conforme comenta Acharya (2014). A Figura 7 a seguir apresenta a definição da trajetória lateral ideal pelo *Localizer*:

Figura 9 - Trajetória do *Localizer*

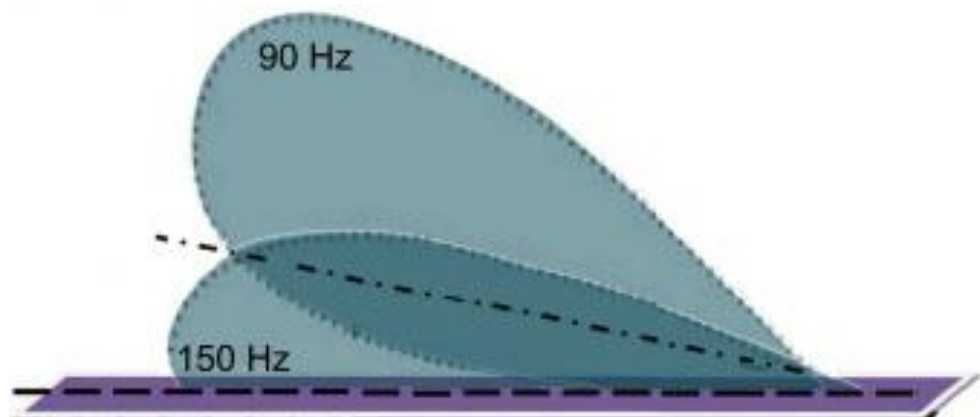


Fonte: Acharya, 2014.

O mesmo princípio ocorre com a guia vertical, porém essa sendo fornecido pelo GS - *Glide Slope*. Neste caso, o GS, assim como o *LOC*, também emite dois sinais para gerar a trajetória de planeio ideal, mas agora gerando um sinal acima da trajetória e outro abaixo, sendo que na interseção dos dois sinais se encontra a trajetória ideal de descida que deve ser seguida pelo piloto para cruzar a cabeceira da pista em uma altura ideal para o toque.

A Figura 8 a seguir demonstra os sinais gerados para determinação da trajetória ideal de planeio.

Figura 10 - Trajetória do *Glide Slope*



Fonte: Acharya, 2014.

Segundo SKYbrary (2021), a trajetória balizada pelo GS fornece ao avião um cruzamento sobre a cabeceira da pista na altura de 50ft, e normalmente, fora as exceções em determinados procedimentos, o ângulo de planeio é de 3°. O autor ainda comenta que os procedimentos *ILS* levam o piloto até a *DH – Decision Height*, que é a altura em que o piloto deve estar visual com a pista para prosseguir para pouso, ou, estando não visual, iniciar o procedimento de arremetida. Normalmente, nos procedimentos é utilizado a *DA – Decision Altitude*, que leva em consideração a altitude em vez da altura para sinalizar o ponto de decisão pelo pouso ou arremetida.

O Sistema de Pouso por Instrumentos normalmente conta com outros equipamentos associados ao *LOC* e *GS*, como por exemplo o *DME* para identificar as distâncias declaradas em relação à pista ou o uso de marcadores dependendo da categoria do *ILS*.

Além de se mostrar um sistema muito confiável e preciso em relação aos demais vistos até agora, o *ILS* ainda conta com categorias que variam conforme as condições meteorológicas, equipamentos de auxílio para pouso disponíveis no aeroporto e homologação da aeronave. De acordo com SKYbrary (2021), as categorias são apresentadas a seguir conforme as condições meteorológicas (*DH – Decision Height* e *RVR – Runway Visual Range*):

- Categoria I: $DH \geq 200\text{ft}$ e $RVR \geq 550\text{m}$;
- Categoria II: $DH \geq 100\text{ft}$ e $RVR \geq 300\text{m}$;
- Categoria III A: $DH < 100\text{ft}$ e $RVR \geq 200\text{m}$;
- Categoria III B: $DH < 50\text{ft}$ e $RVR \geq 50\text{m}$;
- Categoria III C: Procedimento de pouso totalmente automático, não sendo estabelecido mínimos meteorológicos.

2.2.1.4. Rádio *VHF*

O rádio *VHF* é utilizado para a comunicação em qualquer voo realizado sobre as regras de voo por instrumentos, a fim de possibilitar a correta vigilância radar pelo controle e a harmonia de ações entre pilotos e controle.

O rádio a bordo das aeronaves opera em frequência muito alta, como o próprio nome sugere, especificamente na faixa de 108,0MHz e 135,95MHz.

2.2.1.5. *RNAV* – Navegação de Área

RNAV é a navegação mais popular atualmente, sendo a mais utilizada em todos os procedimentos das diferentes fases do voo. Esse meio de navegação baseia-se na capacidade da aeronave em se mover em linha reta entre dois pontos e permite que sua localização seja constantemente identificada, como explica SKYbrary (2018).

O autor ainda explica que para esse tipo de navegação se pode utilizar auxílios à navegação em conjunto, como *VOR/VOR*, *VOR/DME*, navegação inercial e o mais popular, o *GNSS – Global Navigation Satellite Systems*, sendo que o tipo deste último que é utilizado no Brasil é o tipo *GPS – Global Position System*. Entre todos esses meios para realizar a navegação de área, o mais utilizado é o *GNSS*, e é por esse motivo que normalmente quando se fala em *RNAV* se remete automaticamente ao conceito de utilizar *GNSS/GPS* para navegar.

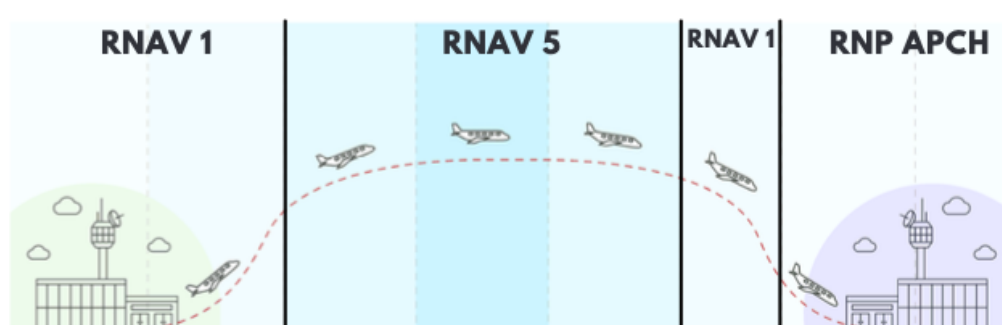
Conforme comenta Airjob (2018), o *RNAV* é classificado conforme a precisão de navegação lateral que deverá ser mantida por 95% do tempo, e essa classificação está diretamente ligada ao número que acompanha a nomenclatura *RNAV*, de acordo com SKYbrary (2018):

- *RNAV10*: Precisão de +/- 10NM por 95% do tempo, sendo utilizado somente para navegação em regiões oceânicas e localidades remotas;
- *RNAV5*: Precisão de +/- 5NM por 95% do tempo, considerada uma navegação básica (*B-RNAV*) e sendo utilizada para rotas continentais e não sendo permitido o voo abaixo da *MSA*;

- *RNAV1*: Precisão de $\pm 1\text{NM}$ por 95% do tempo, considerada uma navegação de precisão (*P-NAV*) e sendo utilizada em áreas terminais e que leva a aeronave até o fixo de aproximação final (*FAF*).
- *RNAV APCH*: Utilizado para todo o procedimento de aproximação, incluindo o pouso e procedimento de arremetida. Possui as seguintes precisões:
 - $\pm 1\text{NM}$ no segmento inicial (do *IAF* ao *IF*);
 - $\pm 1\text{NM}$ no segmento intermediário (do *IF* ao *FAF*);
 - $\pm 0,3\text{NM}$ no segmento final (do *FAF* ao pouso ou *MAPT*);
 - $\pm 1\text{NM}$ na aproximação perdida.

A Figura 9 a seguir representa as classificações mencionadas acima:

Figura 11 - Classificações *RNAV*



Fonte: *Control Academy*, 2021.

2.2.1.6. PBN – Navegação Baseada em Performance

Neste ano de 2021 se viu os procedimentos de aproximação *RNAV* no Brasil mudarem a nomenclatura para *RNP*. Por exemplo, o procedimento de aproximação “*RNAV Z RWY 11*” do Aeroporto Internacional de Porto Alegre teve a sua nomenclatura alterada para “*RNP Z RWY 11*”. Até então, se confundia muito os termos *RNAV*, *PBN* e *RNP*, não havendo uma disseminação ostensiva do que esses termos juntos representavam.

A relação entre esses termos está no monitoramento do sistema e dos parâmetros de navegação. Só o *RNAV* não possui a obrigatoriedade do monitoramento constante das precisões laterais que foram descritas

anteriormente. É isso o que muda quando se fala em *RNP* e *PBN*. O *RNP*, Performance de Navegação Requerida, conforme comenta Airjob (2018), “tem a mesma definição de *RNAV*”, porém, possui sistema de monitoramento e alerta nos momentos em que a aeronave estiver “fora dos limites da precisão lateral do procedimento seguido”.

SKYbrary (2019) ainda comenta que o *RNAV* e *RNP* juntos, isto é, a navegação mais o monitoramento, formam o *PBN*, a Navegação Baseada em Performance.

Isto justifica a mudança de nomenclatura dos antigos procedimentos de aproximação *RNAV* para procedimentos *RNP*, visto que para os procedimentos é imprescindível que se tenha o monitoramento quanto à precisão seguida dos limites laterais.

2.2.2. Auxílios Visuais Luminosos

2.2.2.1. ALS – Approach Lighting System

O Sistema de Luzes de Aproximação é um conjunto de diferentes tipos de luzes instalados ao longo da pista, na cabeceira e na sua extensão, sendo obrigatória a sua presença – variando o tipo – para a realização de procedimentos de aproximação de precisão.

Conforme comenta a FAA (2020), o *ALS* auxilia o piloto no momento de transição do voo por instrumentos – realizando a aproximação sem contato visual com a pista – para o voo visual – momento em que estabelece contato com as luzes de aproximação e/ou a pista e prossegue visual para o pouso. A obrigatoriedade do *ALS* para os procedimentos de aproximação de precisão se deve ao fato de que em situações extremas de teto e visibilidade, na *DA* o piloto terá contato somente com as luzes de aproximação, sendo balizado por este sistema e prosseguindo para o pouso.

Como dito anteriormente, o *ALS* é composto de vários subsistemas que juntos formam o sistema como um todo, e, além disso, assim como o *ILS* possui categorias, o *ALS* também apresenta diferentes categorias dependendo dos equipamentos instalados.

Como comenta *AFAIS - Air Force Advanced Instrument Instructors Course* (2020), alguns dos subsistemas de luzes que compõem o Sistema de Luzes de Aproximação são:

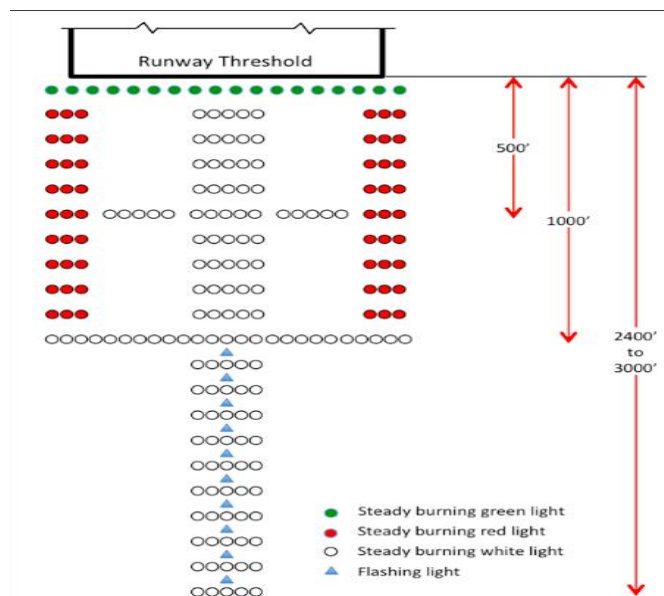
- Luzes de Cabeceira: conjunto de luzes verdes alinhadas lateralmente que indicam o início da cabeceira da pista;
- Luzes do Eixo da Pista: conjunto de luzes que se estendem por aproximadamente 700m da cabeceira da pista para indicar o alinhamento do eixo da pista;
- Barra de Rolagem: em conjunto com as luzes do eixo da pista, são instaladas paralelamente à cabeceira da pista em uma distância de aproximadamente 300m;
- Luzes de *Flash* Sequenciadas: luzes de *Flash* que correm na frequência de 2 vezes por segundo e indicam o caminho para a pista. Quando esse conjunto de luzes é instalado separadamente e antes das Luzes do Eixo da Pista, o nome utilizado é Luzes Indicadoras do Alinhamento da Pista;
- Barras laterais: Luzes vermelhas instalados em ambos os lados das Luzes do Eixo da Pista nos últimos 300m da aproximação, após a Barra de Rolagem;
- Barra de Decisão: Luzes vermelhas instaladas paralelamente à cabeceira da pista, servindo como horizonte artificial para a mudança do voo por instrumento para o voo visual.

Importante comentar que, conforme comenta *AFAIS* (2020), para descer abaixo de 100ft na aproximação, o piloto deve ter contato ou com as barras laterais ou com a barra de decisão.

Nem todos os subsistemas listados acima estão presentes em todos os Sistemas de Luzes de Aproximação, e isto é que difere as principais categorias do sistema:

- *ALSF-2* – *ALS* de Alta Intensidade com Luzes de *Flash* Sequenciadas
Categoria 2: utilizado para procedimento de aproximação de precisão categoria II e III; (Figura 10).

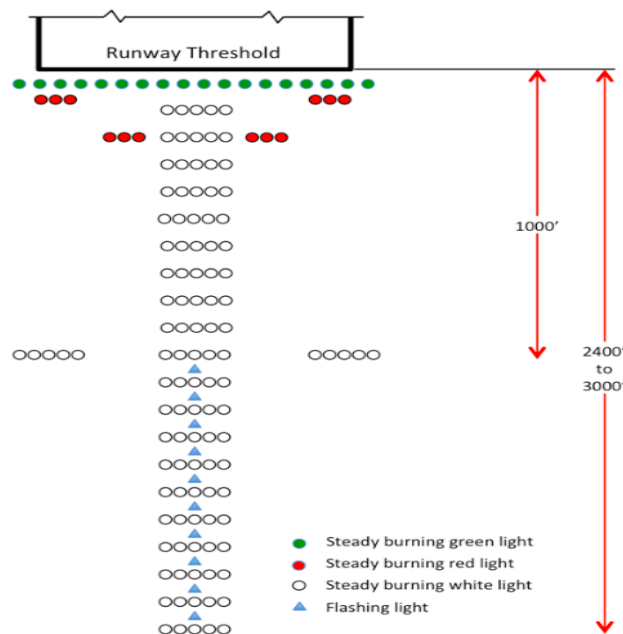
Figura 12 - *ALSF-2*



Fonte: AFAIS, 2020.

- **ALSF-1** – ALS de Alta Intensidade com Luzes de Flash Sequenciadas
Categoria 1: utilizado para procedimento de aproximação de precisão categoria I; (Figura 11).

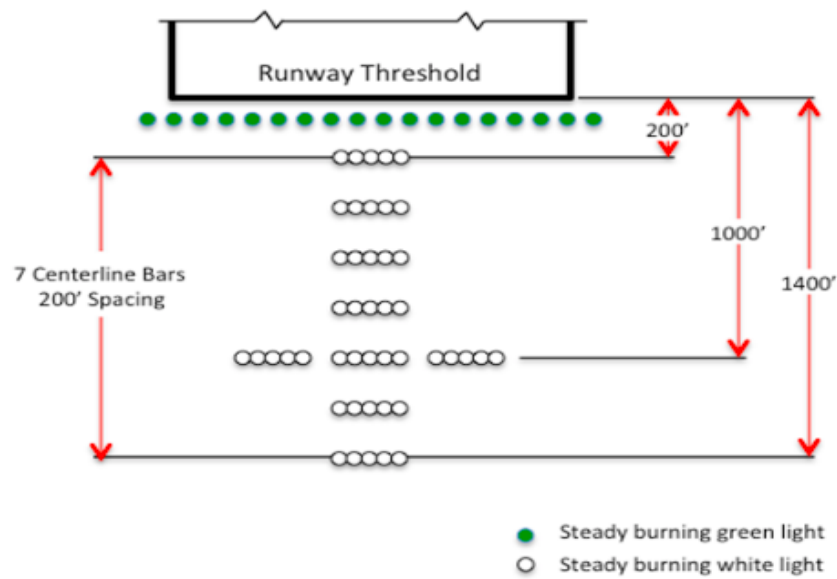
Figura 13 - ALSF-1



Fonte: AFAIS, 2020.

- **MALS** – ALS de Média Intensidade: utilizado para procedimento de aproximação de não precisão (Figura 12).

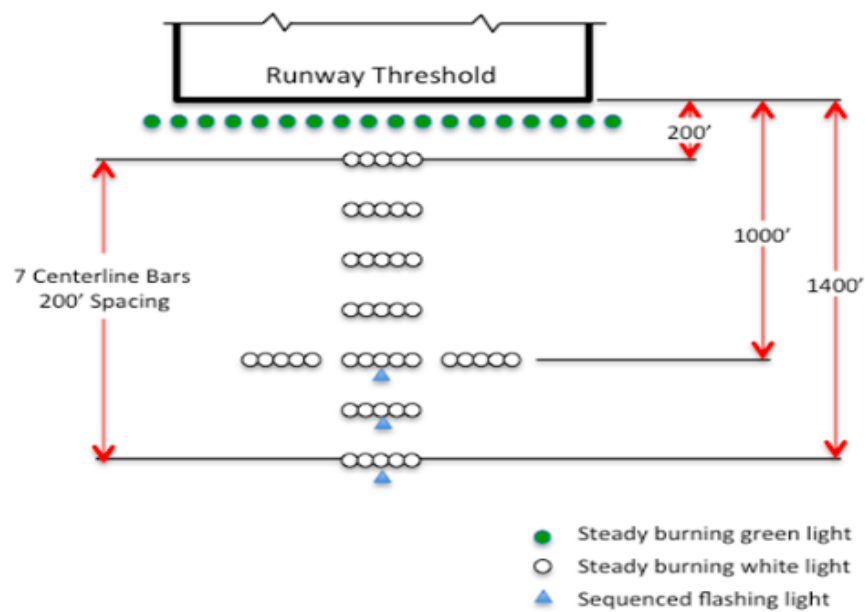
Figura 14 - *MALS*



Fonte: AFAIS, 2020.

- *MALSF* – *MALS* acrescido de Luzes de Flash Sequenciadas (Figuras 13).

Figura 15 - *MALSF*



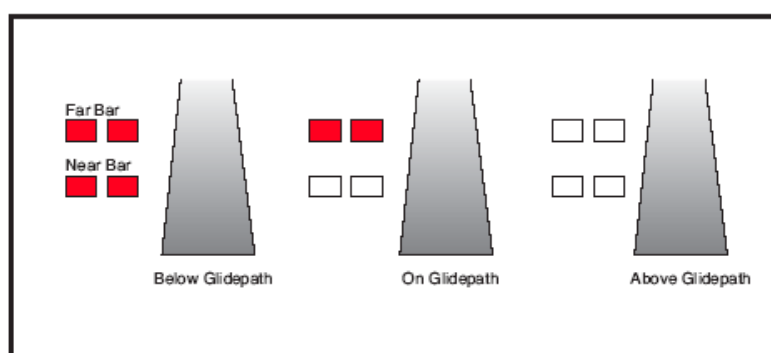
Fonte: AFAIS, 2020.

2.2.2.2. VASIS – Visual Approach Slope Indicator System

Para auxiliar o piloto na aproximação final a manter o correto trajeto de planeio para pouso existem alguns sistemas de sinalização instalados no solo. O VASIS, Sistema Indicador de Ângulo de Aproximação Visual, é instalado ao lado da pista próximo à cabeceira, fornecendo a informação do planeio ideal para o piloto usando pares de cores vermelhas e brancas, conforme afirma ANAC, 2020.

A Figura 14 a seguir demonstra o padrão de planeio seguindo a orientação do VASIS:

Figura 16 - VASIS



Fonte: NAPPF, 2009.

Como demonstra a figura acima, na rampa de planeio ideal na aproximação final o piloto visualiza no VASIS duas luzes vermelhas e duas brancas, em qualquer condição diferente desta estará ou abaixo ou acima da trajetória ideal.

Ao contrário do que se pensa, todas as luzes vermelhas e brancas estão sempre acesas, porém o ângulo de visão do piloto que determina quais delas serão visíveis, o que explica o funcionamento deste sistema.

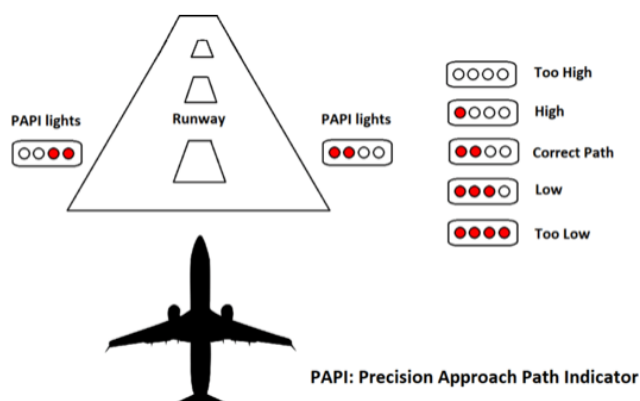
2.2.2.3. PAPI – Precision Approach Path Indicator

O Indicador de Trajetória de Aproximação de Precisão funciona da mesma forma que o VASIS, porém eliminando os problemas encontrados por aeronaves muito altas durante o uso deste e possuindo maior precisão.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 1, n. 5, p. 4-40, nov-dez. 2021.

O funcionamento do *PAPI* ocorre de forma similar ao já visto do que acontece com o *VASIS*, como pode ser verificado na Figura 15 a seguir:

Figura 17 - *PAPI*



Fonte: WOPMAN, 2021.

2.3. SEGURANÇA OPERACIONAL NA AVIAÇÃO

Como em qualquer atividade que funciona com alto nível de risco operacional, na aviação a segurança é muito debatida e vem sendo cada vez mais presente nas operações aéreas. Para isso, existe o SGSO – Sistema de Gestão de Segurança Operacional, o qual, segundo o CENIPA (2015), “é um conjunto de ferramentas gerenciais e métodos organizados para apoiar as decisões a serem tomadas por um provedor de serviço da aviação civil em relação ao risco de suas atividades diárias”. O órgão ainda complementa que a segurança operacional é um processo contínuo, e que ele representa o estado em que o risco da atividade está controlado a um nível aceitável.

A aviação, por toda a sua grande estrutura e atividade, não se sustenta levando o risco à zero, é inviável. Portanto, é importante a avaliação do cenário e a aplicação de ferramentas e práticas que ajudam a reduzir e manter o risco em um nível aceitável e, assim, possibilitando o acontecimento da atividade aérea mantendo o nível de segurança operacional.

Isto acontece com o voo por instrumentos, em que diversos procedimentos são publicados e aeronaves são homologadas para que o voo

possa ocorrer em um nível de risco aceitável até mesmo nos momentos em que o piloto não possui contato visual com o solo e com o horizonte.

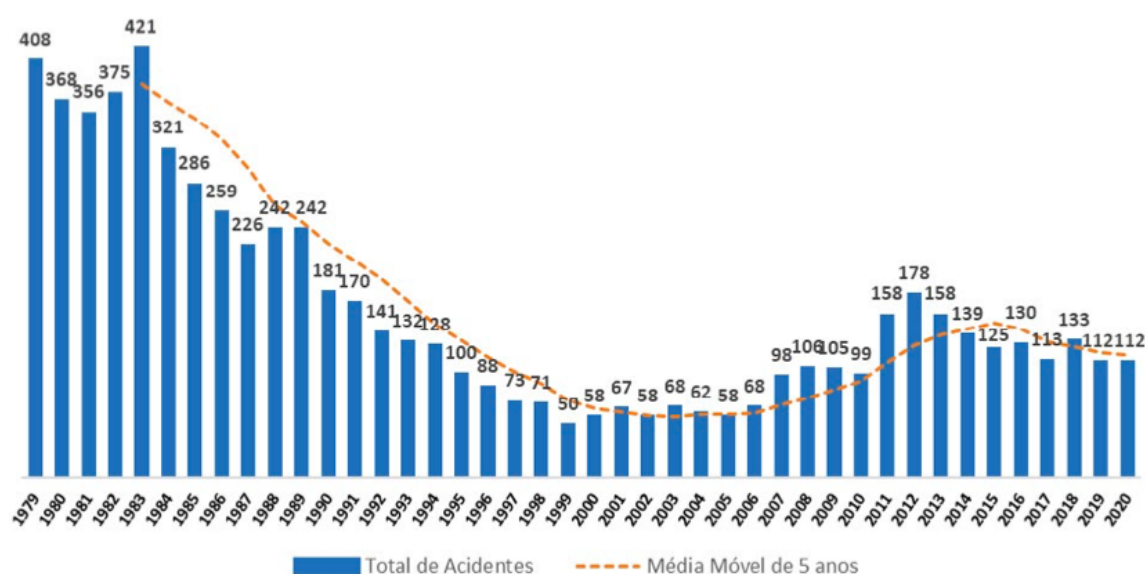
3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como visto anteriormente, foram muitas as aplicações que foram sendo implementadas ao longo do tempo na aviação, e que se percebe que vinham cada vez mais tecnológicas e com uma precisão maior. Do *NDB* ao *RNP* foram muitas mudanças, da carga de trabalho dos tripulantes à precisão envolvida, da confiabilidade do sistema à tecnologia aplicada ao sistema de alerta de precisão, enfim, foram muitas mudanças que em um primeiro contato já se percebe que seria inevitável que tudo isso não fosse deixar os voos de regras por instrumentos mais seguros.

Além disso, é importante realizar a verificação e análise de dados coletados ao longo dos anos para relacionar o avanço da tecnologia aplicada aos equipamentos de auxílio à navegação com a mudança da segurança operacional nos voos por instrumentos. A Figura 16 a seguir, retirada do Relatório Anual de Segurança Operacional – RASO – de 2020 publicado pelo CENIPA, mostra uma tendência significativa de queda do total de acidentes aeronáuticos da aviação civil brasileira:

Figura 18 - Histórico de acidentes da aviação civil brasileira

HISTÓRICO DE ACIDENTES DA AVIAÇÃO CIVIL BRASILEIRA



Fonte: CENIPA, 2020.

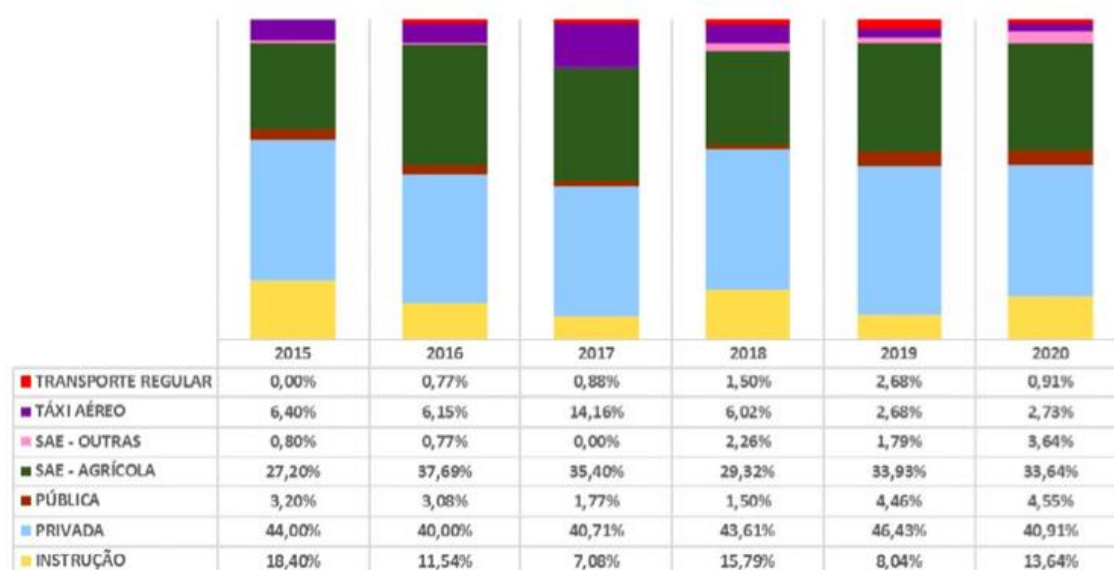
É importante salientar que a figura acima representa o número total de acidentes, não levando em consideração o número de voos realizados em cada ano. Portanto, alguns anos podem apresentar queda ou acréscimo do número de acidentes e não apresentar uma piora ou melhora no cenário da segurança operacional, visto que estes dados podem ter acompanhado uma queda ou acréscimo do número de voos realizados naquele ano.

Porém, o importante é analisar a tendência significativa da diminuição do número de acidentes aeronáuticos desde o ano de 1979.

Outro ponto importante a destacar é que a figura apresentada acima representa os acidentes ocorridos em todos os tipos de operação aérea, o que em alguns casos não se pratica o voo por instrumentos. Para isso, a Figura 17 representa a participação dos tipos de operação no total de acidentes do ano de 2015 a 2020:

Figura 19 - Participação dos tipos de operação no total de acidentes – 2015 a 2020

PARTICIPAÇÃO DOS TIPOS DE OPERAÇÃO NO TOTAL DE ACIDENTES - 2015 A 2020



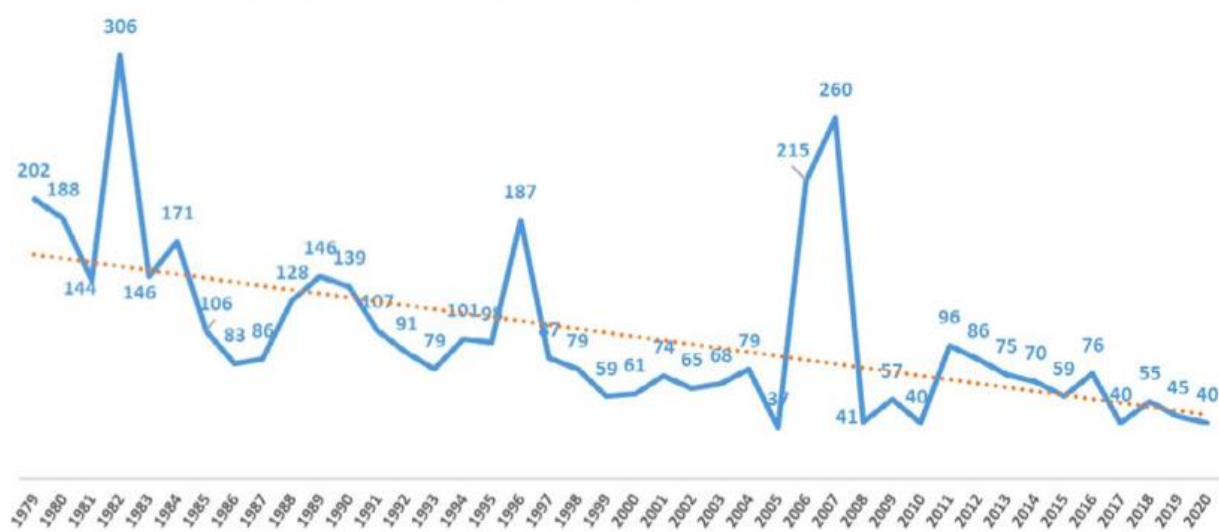
Fonte: CENIPA, 2020.

Das operações apresentadas, verifica-se que o transporte regular, o que opera em quase a sua totalidade praticando o voo por instrumentos, possui baixa participação no número total de acidentes ocorridos no último ano. A aviação agrícola, a qual apresenta participação significativa no número total de acidentes, não faz uso dos auxílios à navegação para a operação. Para os demais tipos de operação apresentados é impossível quantificar os voos destes que praticam ou não o voo por instrumentos.

A seguir, é analisado outro tipo de dado muito importante, que diz respeito às fatalidades ocorridas ao longo dos anos nos acidentes aeronáuticos. Assim como se percebe uma tendência de queda no número de acidentes aeronáuticos na aviação civil brasileira, também pode ser verificado uma tendência significativa do número de fatalidades ocorridas nesses acidentes ao longo dos anos, conforme mostra a Figura 18:

Figura 20 - Histórico de fatalidades na aviação civil brasileira

HISTÓRICO DE FATALIDADES NA AVIAÇÃO CIVIL BRASILEIRA



Fonte: CENIPA, 2020.

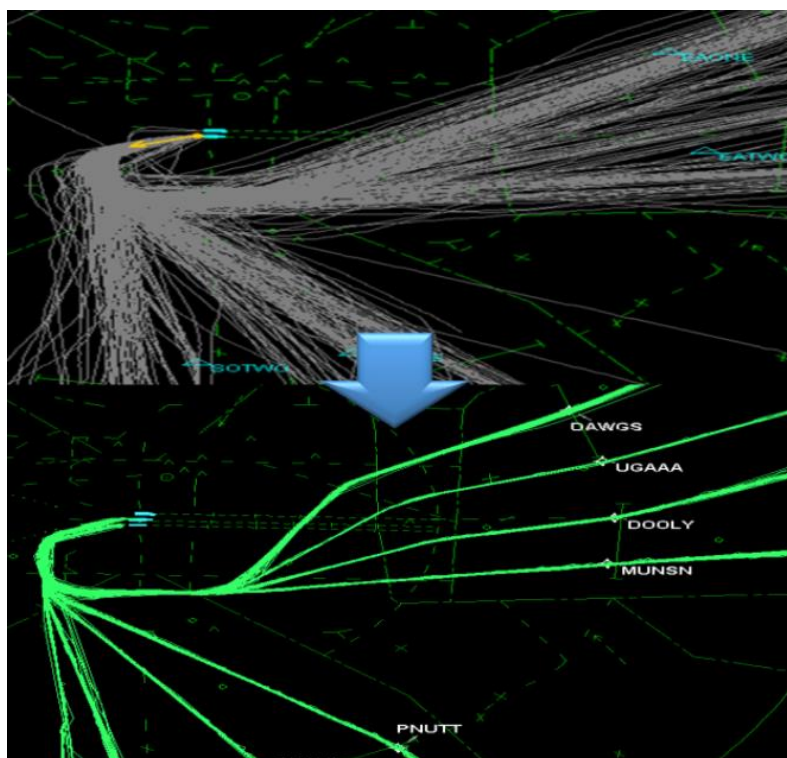
Até o momento foram verificados dados de acidentes como um todo na aviação civil brasileira. Assim como se acredita que o desenvolvimento dos auxílios à navegação ao longo dos anos auxiliou de forma significativa na tendência de queda de acidentes ocorridos desde o ano de 1979 que foi verificada acima, entende-se que muitos outros fatores também fizeram o seu papel. Isto é, essa tendência de queda é fruto da tecnologia desenvolvida ao longo dos anos para aprimorar o voo por instrumentos, assim como também é resultado dos treinamentos de tripulantes sobre segurança operacional que foram sendo implementados ao longo dos anos, do conceito de *CRM – Crew Management Resource* – que foi sendo implementado e hoje é muito presente na aviação, dos voos de instruções que forem sendo aprimorados e transformados, enfim, são muitos fatores que influenciaram e fizeram com que hoje se possa verificar essa tendência de queda nos acidentes aeronáuticos apresentada nas figuras acima.

Porém, ainda assim é necessário verificar na prática como de fato o avanço dos auxílios à navegação contribuiu para a segurança operacional dos voos por instrumentos de forma isolada, para cumprir o objetivo deste trabalho.

Por isso, nas Figuras 19 e 20 a seguir, serão apresentados alguns dados que demonstram o fluxo de tráfego que ocorreu por determinado período em

procedimentos de aproximação e saída realizados por aeronaves utilizando a navegação convencional e outro período utilizando a Navegação de Área (RNAV).

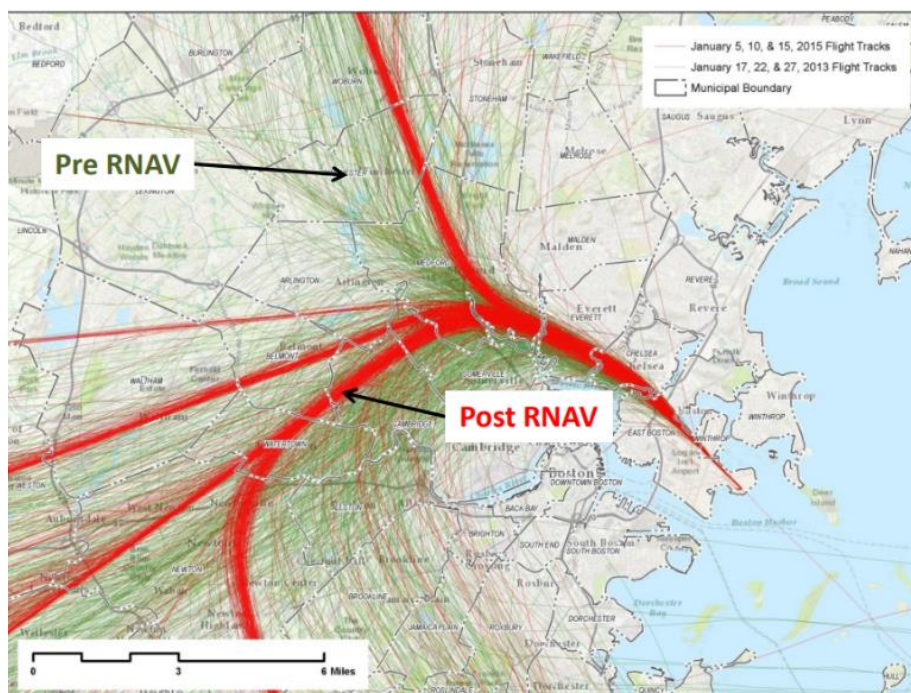
Figura 21 - Comparativo 1 de tráfego em navegação convencional e RNAV



Fonte: Control Academy, 2021.

Nas duas figuras está identificada a diferença do percurso realizado entre as aeronaves que utilizaram navegação convencional, *VOR* e *NDB* basicamente, e as aeronaves que utilizaram *RNAV*. Através de todo o conteúdo coletado e analisado no referencial teórico deste trabalho, já era esperado que a aplicação de novas tecnologias e o aprimoramento dos novos auxílios à navegação com maior precisão teriam realmente trazido benefícios significativos para a segurança operacional nos voos por instrumentos.

Figura 22 - Comparativo 2 de tráfego em navegação convencional e RNAV



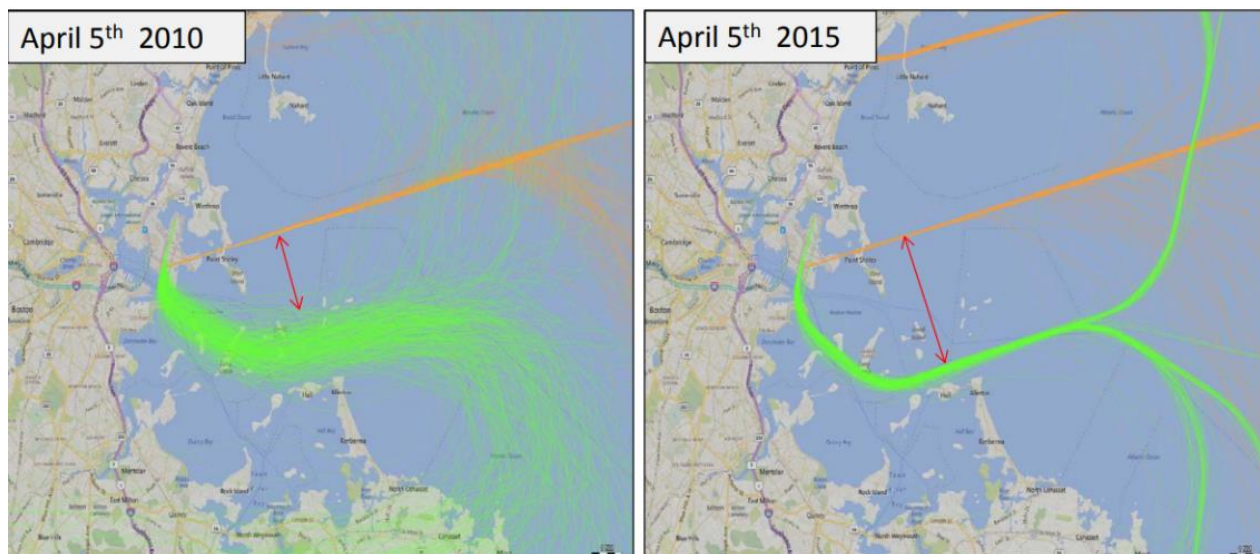
Fonte: Control Academy, 2021.

Nas duas imagens percebe-se que utilizando o meio de navegação mais novo e mais preciso que é o *RNAV* em vez de auxílios mais antigos, ocorre uma constância no percurso realizado pelas aeronaves, ou seja, o voo por instrumento ocorre com maior precisão e confiabilidade, deixando o espaço aéreo mais seguro e capaz de absorver uma maior quantidade de voos.

Para afirmar com mais clareza esse efeito positivo na segurança operacional trazido pelo avanço das tecnologias nos voos realizados sob regras por instrumentos, a Figura 21 a seguir demonstra a distância entre as aeronaves que aproximavam e as que cumpriam perfis de saída em dois momentos distintos no Aeroporto Internacional de Bostou – EUA, em 2010 utilizando equipamentos convencionais e em 2015 utilizando *RNAV*:

Na imagem acima é possível identificar que a distância entre as aeronaves em aproximação (percursos laranjas) e as em perfis de saída (percursos verdes) praticamente duplicou após a implementação e uso da navegação de área, muito mais precisa e aplicável aos dias atuais do que a navegação convencional. Vale ressaltar que quando se fala em *RNAV* está se considerando as aeronaves que voam *PBN*, ou seja, as que possuem a capacidade de monitoramento da navegação de área.

Figura 23 - Distância segura entre aproximação e perfil de saída



Fonte: *Control Academy*, 2021.

Outro ponto importante a se destacar verificado na figura acima é sobre as aproximações, que como verificado não se alterou do ano de 2010 para 2015. Isso se deve ao fato de que mesmo antes da implementação do *RNAV*, as aproximações já contavam com um sistema de precisão, o *ILS*, que foi anteriormente discutido neste trabalho. Nestas imagens foi realizado um comparativo entre navegação de área e convencional, não sendo possível encontrar dados comparativos entre procedimento utilizando *NDB*, *VOR* e *ILS*. Contudo, visto as características apresentadas sobre cada sistema no referencial teórico deste trabalho, se espera que o resultado da comparação entre esses equipamentos seria similar ao encontrado nas comparações até aqui apresentadas, principalmente quando se pensa no comparativo entre aproximações *VOR* e *ILS*, visto o grande avanço que este último sistema trouxe para a realização de aproximações de precisão considerando as guias lateral e vertical. Sem contar ainda os benefícios que os auxílios luminosos de solo foram trazendo ao longo do tempo para os procedimentos de aproximação em situações de baixa visibilidade e condição de teto.

O resultado encontrado era o esperado desde o início do trabalho, tendo em vista que a aviação começou com o *NDB*, em que se tinha interferências pelo

relevo da localidade, por formações meteorológicas, entre outras, e hoje conta com sistema de *GPS* que possui a capacidade de verificar a precisão em que se está mantendo em voo e notificar a tripulação em caso de desvio da precisão mínima regulamentada para aquele sistema.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A história da aviação vem sendo construída ao longo das décadas através da evolução. Essa evolução não é de somente um tipo ou segmento, são evoluções em todos os âmbitos e em todas as arestas da aviação. Desde o seu início, a aviação se baseou no desenvolvimento de novas tecnologias, novos meios de pensar e de agir com as pessoas que formam e admiram ela. O que conhecemos hoje por aviação é o fruto de muitas mudanças e melhorias que foram sendo realizadas ao longo dos anos. Da mesma forma, a aviação que vivenciaremos daqui a 10 anos será o resultado das melhorias que trabalhamos hoje.

Este trabalho se propôs a estudar e analisar uma de todas essas mudanças que aconteceram na aviação nos últimos anos, a evolução dos equipamentos de auxílio à navegação e a sua relação com a melhoria das condições da segurança operacional nos voos por instrumentos. Foi realizado uma pesquisa sobre os principais tipos de auxílios à navegação, bem como o que mudou de forma significativa com a implementação de cada um deles. Foi possível verificar que o avanço desses equipamentos trouxe junto uma melhora nas condições de segurança operacional para os voos por instrumentos, principalmente nas fases de aproximação e saída.

Além disso, foi identificado que a segurança operacional na aviação civil vem melhorando como um todo ao longo do tempo, não somente nos voos por instrumentos que era o objetivo de estudo deste projeto. E isto está relacionado com o fato de que cada vez mais o assunto segurança operacional está tomando o seu lugar na aviação e que as pessoas estão entendendo a sua real importância.

Este projeto permitiu que os aprendizados sobre os instrumentos e meios de navegação fossem aprimorados, podendo estudá-los de forma detalhada e identificar como esses vieram mudando o nível de segurança operacional neste tipo de operação.

E por fim, foi possível verificar que sempre existem oportunidades de mudança em qualquer lugar. Os instrumentos que hoje parecem perfeitos e insubstituíveis, amanhã poderão dar lugar para equipamentos mais sofisticados e com maiores precisão. O nosso dever é entender que sempre há espaço para mudanças e de que podemos deixar o nosso lugar de trabalho, nesse caso, o nosso espaço aéreo, cada vez mais seguro e operacional.

Assim sendo, entende-se que o objetivo do trabalho foi cumprido, porém, foi percebido uma oportunidade de realizar uma análise quantitativa dos dados em uma próxima oportunidade, a fim de estabelecer uma relação mais concreta entre os equipamentos de navegação e a segurança operacional nos voos por instrumentos. Considerando isso e entendendo que este assunto é um ramo vasto dentro da aviação, há um espaço infinito de estudo que ainda pode ser entendido e analisado por outros trabalhos acadêmicos futuramente.

REFERÊNCIAS

ABAG, Associação Brasileira de Aviação Geral. **Voo por Instrumento ou Voo Visual**. Disponível em:<<https://www.abag.org.br/2018/08/20/voo-por-instrumento-ou-voo-visual-entenda-a-diferenca/>>. Acesso em: 03 ago 2021.

ACADEMY, Control. **Navegação Baseada em Performance: PBN**. 2021. 62 slides.

ACHARYA, Rajat. **Instrument Landing System**. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/instrument-landing-system>>. Acesso em: 10 ago 2021.

AERONAUTICS, *Guide. Aircraft VOR Navigation System*. Disponível em:<<https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/vor-navigation-system.html>>. Acesso em: 09 ago 2021.

AFAIS, *Air Force Advanced Instrument Instructors Course. Approach Lighting System*. Disponível em:<https://code7700.com/approach_lighting_system.htm>. Acesso em: 10 ago 2021.

AIRJOB. **RNAV E RNP: Você sabe a diferença entre eles?**. Disponível em:<<https://airjob.wordpress.com/2018/09/19/rnav-e-rnp-voce-sabe-a-diferenca/>>. Acesso em: 20 ago 2021.

AUSTRÁLIA, *Civil Aviation Safety Authority Australian. Operational Notes on Non-Directional Beacons (NDB) and Associated Automatic Direction Finding (ADF)*. Disponível em:<<https://www.casa.gov.au/sites/default/files/non-directional-beacons-associated-automatic-direction-finding.pdf>>. Acesso em: 07 ago 2021.

BRASIL, Agência Nacional de Aviação Civil. **ANACpédia – auxílios à navegação aérea**. Disponível em:<https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_esp/tr158.htm>. Acesso em 28 jul 2021.

BRASIL, Agência Nacional de Aviação Civil. **ANACpédia – VASIS**. Disponível em:<<https://www2.anac.gov.br/anacpedia/sig/tr2200.htm>>. Acesso em: 11 ago 2021.

BRASIL, Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **SGSO: melhoria contínua na segurança operacional**. Disponível em:<<https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/ultimas-noticias/899-sgso-melhoria-continua-na-seguranca-operacional>>. Acesso em: 20 ago 2021.

BRASIL, Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Relatório Anual de Segurança Operacional (RASO) – 2020**. Disponível em:<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/raso_2020.pdf>. Acesso em: 05 set 2021.

COELHO, Beatriz. **Tipos de Pesquisa: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos**. Disponível em:<<https://blog.mettzer.com/tipos-de-pesquisa/>>. Acesso em: 28 jul 2021.

ESTADOS UNIDOS, *Federal Aviation Administration*. **Lighting Systems - Approach Lighting System with Sequence Flashing Lights (ALSF-2)**. Disponível em:<https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/lsg/als/>. Acesso em: 10 ago 2021.

ESTADOS UNIDOS, *Federal Aviation Administration*. **Navigation Aids**. Disponível em:<https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html/chap1_section_1.html>. Acesso em: 09 ago 2021.

FLIGHT, *Literacy*. **Ground-Based Navigation (Part One) - Very High Frequency (VHF) Omnidirectional Range (VOR)**. Disponível em:<<https://www.flightliteracy.com/ground-based-navigation-part-one-very-high-frequency-vhf-omnidirectional-range-vor/>>. Acesso em: 09 ago 2021.

FUKS, Rebeca. **Santos Dummont ou os irmãos Wright? Quem foi o verdadeiro inventor do avião?** Disponível em:<https://www.ebiografia.com/santos_dumont_irmaos_wright_inventor_aviao/>. Acesso em: 03 ago 2021.

HOUSTON, Sarina. **ADF/NDB Navigation System**. Disponível em:<<https://www.thebalancecareers.com/the-ADF-NDB-navigation-system-282773#practical-use>>. Acesso em: 07 ago 2021.

HOUSTON, Sarina. **VOR Navigation System**. Disponível em:<<https://www.thebalancecareers.com/vor-navigation-system-282557>>. Acesso em: 09 ago 2021.

GRIFFITH, John. **Liability for Takeoff and Landing Accidents on Commercial Flights**. Disponível em:<<https://www.griffithinjurylaw.com/library/common-causes-of-takeoff-and-landing-accidents-on-flights.cfm>>. Acesso em: 28 jul 2021.

JACKYMANN, Jorge Jr. **NDB - Radiofarol**. Disponível em:<<https://www.abag.org.br/2018/08/20/voo-por-instrumento-ou-voo-visual-entenda-a-diferenca/>> Acesso em: 7 ago 2021.

MARTIN, Erica. **WHAT DO VFR AND IFR MEAN?** Disponível em:<<https://pea.com/blog/posts/vfr-ifr-mean/>>. Acesso em: 29 jul 2021.

NAPPF, North American Powered Parachute Federation. **Visual Approach Slope Indicator.** Disponível em:<http://www.nappf.com/nappf_vasi_visual_approach_slope.htm>. Acesso em: 11 ago 2021.

PNGWING. **Nondirectional Beacon.** Disponível em:<<https://www.pngwing.com/en/search?q=nondirectional+Beacon>>. Acesso em: 07 ago 2021.

SKYbrary. **Area Navigation (RNAV).** Disponível em:<[https://www.skybrary.aero/index.php/Area_Navigation_\(RNAV\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Area_Navigation_(RNAV))>. Acesso em: 20 ago 2021.

SKYbrary. **Instrument Flight Rules (IFR).** Disponível em:<[https://www.skybrary.aero/index.php/Instrument_Flight_Rules_\(IFR\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Instrument_Flight_Rules_(IFR))>. Acesso em: 29 jul 2021.

SKYbrary. **Instrument Landing System (ILS).** Disponível em:<[https://www.skybrary.aero/index.php/Instrument_Landing_System_\(ILS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Instrument_Landing_System_(ILS))>. Acesso em: 10 ago 2021.

SKYbrary. **Performance Based Navigation (PBN).** Disponível em:<[https://www.skybrary.aero/index.php/Performance_Based_Navigation_\(PBN\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Performance_Based_Navigation_(PBN))>. Acesso em: 20 ago 2021.

WOPMANN, Lukas. **The Functioning of PAPI Lights.** Disponível em:<<https://aviationforaviators.com/2021/03/03/the-functioning-of-papi-lights/>>. Acesso em: 11 ago 2021.