

Mínimos Operacionais sob o Conceito de Performance de Navegação Requerida – Autorização Obrigatória (RNP AR)

Clóvis Fernandes Júnior e Livia Aparecida de Almeida e Sousa

Universidade da Força Aérea (UNIFA) EAOAR. Av. Mal. Fontenelle, 1200 – Campo dos Afonsos – Rio de Janeiro – RJ. CEP: 21740-001

Resumo — A publicação de um novo conceito de navegação aérea, denominado RNP AR, despertou o interesse sobre os aspectos do cálculo dos mínimos operacionais de um aeródromo, particularmente quanto à influência exercida por obstáculos. O objetivo foi analisar até que ponto o conceito RNP AR poderia reduzir a influência que o relevo exerce na determinação dos mínimos operacionais de aproximação em pistas do aeroporto Santos Dumont e do aeroporto de Joinville. Foi possível comparar os mínimos operacionais obtidos através da aplicação desse novo conceito com os atuais mínimos operacionais dos aeródromos e verificou-se que a aplicação do conceito RNP AR permitiu a redução desses mínimos no aeroporto de Joinville. No entanto, o mesmo resultado não foi alcançado para o caso do aeroporto Santos Dumont, demonstrando que esse conceito não se aplica a qualquer situação e que o relevo continua exercendo significativa influência na operacionalidade de um aeródromo.

Palavras-Chave — Aeródromo. Mínimos Operacionais. RNP AR.

I. INTRODUÇÃO

O aeroporto Santos Dumont está localizado em uma área privilegiada do Rio de Janeiro. Além de estar próximo ao centro da cidade, também propicia um maravilhoso visual dos seus principais cartões postais, tais como o Pão de Açúcar e o morro do Corcovado, sendo, por estes motivos, o aeroporto preferido por empresários e turistas [1]. Entretanto, esses mesmos cartões postais apresentam dificuldades para o tráfego aéreo, pois limitam as opções de operação na pista 02R do aeródromo. Situação semelhante pode ser observada em relação ao aeroporto de Joinville, que está localizado próximo a Serra do Mar, o que inviabiliza a execução de procedimentos de aproximação direta para a pista 15 do aeródromo.

Em geral, um aeródromo homologado para operações por instrumentos dispõe de procedimentos de aproximação direta para as duas cabeceiras da pista, o que é uma vantagem operacional, pois, conforme as condições meteorológicas e de tráfego aéreo, a aeronave pode se aproximar pelos dois setores do aeródromo.

No entanto, as operações de aproximação para pouso na pista 02R do aeroporto Santos Dumont, ou para a pista 15 do aeroporto de Joinville, são efetuadas de forma indireta, através de procedimentos de aproximação para circular, uma vez que, conforme os critérios previstos [2], não foi possível desenvolver procedimentos de aproximação direta para essas pistas. Em ambos os casos, pode-se verificar uma grande influência dos obstáculos naturais (relevo) em relação aos mínimos operacionais, o que implica limitação e impacto à eficiência e à regularidade das operações nos aeródromos.

Em 2009, a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), Órgão das Nações Unidas (ONU) que estabelece as normas e práticas internacionais para a aviação civil, publicou um novo conceito de procedimento de navegação aérea, denominado *Required Navigation Performance Authorization Required* (Performance de Navegação Requerida - RNP AR), que apresenta características mais específicas e flexíveis que os demais tipos de procedimentos de navegação aérea, tais como trajetórias em curva, maior precisão de navegação e trajetórias verticais em descidas estabilizadas [3].

Esse conceito de navegação aérea fez renascer a expectativa de serem estabelecidos procedimentos de aproximação direta para aeródromos que apresentam dificuldades em relação ao relevo no seu entorno, como acontece no caso dos aeroportos Santos Dumont e de Joinville.

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), órgão do Comando da Aeronáutica (COMAER) responsável pela segurança e eficiência da utilização do espaço aéreo, tem grande interesse em aprofundar o conhecimento sobre os fatores que influenciam o cálculo dos mínimos operacionais de um aeródromo e, de maneira mais prática, em descobrir novas metodologias que propiciem o desenvolvimento da navegação aérea nacional [4].

Uma de suas metas mais prementes refere-se à necessidade de aumentar a capacidade do espaço aéreo, em virtude da maior demanda do tráfego aéreo. Não bastasse os fatores relacionados ao crescimento econômico dos últimos anos, existem pelo menos dois grandes eventos desportivos (Copa do Mundo 2014 e Olimpíadas 2016) que irão gerar um significativo fluxo de turistas para o país e que, desta forma,

vão impor novos desafios para elevar o número de aeronaves voando no espaço aéreo brasileiro [1].

Nesse sentido, o estudo quanto à aplicabilidade do conceito RNP AR para operações de aproximação nos aeroportos Santos Dumont e de Joinville possibilitaria uma maior compreensão da influência que o relevo exerce sobre os mínimos operacionais de um aeródromo.

Resultados interessantes poderiam ser alcançados através da pesquisa a ser realizada, os quais poderiam responder perguntas instigantes: É possível que novos conceitos de navegação aérea reduzam a relação de dependência dos mínimos operacionais de aeródromo em relação aos obstáculos? Como se comportaria o conceito RNP AR em relação ao cenário desafiante imposto pelo relevo no entorno dos aeroportos Santos Dumont e de Joinville?

Além disso, o fato de serem utilizados dois aeródromos que possuem características operacionais similares, mas com o relevo de entorno um pouco diferentes, permitiria explorar mais aspectos do conceito RNP AR, enriquecendo, desta forma, o conhecimento adquirido ao final do trabalho de pesquisa.

A fim de sintetizar e delimitar o tema de estudo, alinhado às inquietações mencionadas, foi definido o seguinte problema de pesquisa científica: Até que ponto a aplicação do conceito RNP AR poderia reduzir a influência do relevo na determinação dos mínimos operacionais de aproximação da pista 02R do aeroporto Santos Dumont e da pista 15 do aeroporto de Joinville?

Uma vez caracterizado o problema de pesquisa, faz-se necessário estabelecer o objetivo geral do trabalho, que será analisar até que ponto o conceito RNP AR poderia reduzir a influência que o relevo exerce na determinação dos mínimos operacionais de aproximação da pista 02R do aeroporto Santos Dumont e da pista 15 do aeroporto de Joinville.

Tendo em vista a retomada de aspectos relevantes sobre o trabalho a ser realizado, assim como para enfatizar sua classificação na linha de pesquisa de Doutrina de Emprego, ressalta-se que o DECEA deve estar atento aos novos métodos de navegação propostos pela OACI, a fim de verificar a viabilidade de sua aplicação no âmbito do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) e, desta forma, poder promover o desenvolvimento da navegação aérea nacional, alinhado com as melhores práticas internacionais.

Além do melhor entendimento sobre a influência que o relevo pode exercer sobre os mínimos operacionais de um aeródromo (pesquisa científica), o presente estudo também poderia auxiliar os diversos órgãos e interessados responsáveis pela seleção de locais para a construção de aeroportos, especialmente quanto ao problema que uma má escolha poderia acarretar.

Por fim, a análise da aplicabilidade desse novo conceito para o aprimoramento da operação de aeródromos seria uma abordagem pioneira no SISCEAB e poderia se tornar uma referência para a construção de um conhecimento mais amplo do assunto.

Em seguida, é apresentada a metodologia que será utilizada para a execução dos objetivos necessários à conclusão da pesquisa proposta.

II. METODOLOGIA

O objetivo desta pesquisa é analisar a influência que obstáculos exercem no cálculo dos mínimos operacionais de um aeroporto, tendo como ferramenta de análise o conceito RNP AR. Segundo Gil [5], esse tipo de estudo é identificado como pesquisa exploratória, pois tem a finalidade de proporcionar maior familiaridade com os fatores que interferem na operacionalidade de um aeródromo, o que também poderá aprofundar o entendimento sobre essa questão.

O desenvolvimento da pesquisa será efetuado tanto por meio de pesquisa bibliográfica e documental, como por meio de uma pesquisa experimental. Para Gil [5], a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, o que será fundamental para a definição de mínimos operacionais de aeródromos e do conceito RNP AR. O mesmo autor menciona que a pesquisa documental se assemelha à pesquisa bibliográfica, sendo que a diferenciação essencial estaria na natureza das fontes. Assim, também serão consultados documentos internacionais da OACI e instruções e regulamentos do Comando da Aeronáutica que tratam do tema que será pesquisado. Também será efetuada a coleta de informações sobre as características físicas e operacionais dos aeródromos Santos Dumont e de Joinville [2], assim como do relevo no seu entorno, para que o experimento possa ser executado.

Com relação à pesquisa experimental, Gil [5] afirma que é o delineamento mais prestigiado nos meios científicos, pois o pesquisador é um agente ativo e não um observador passivo. Para a sua realização, é necessário determinar um objeto de estudo e selecionar variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definir formas de controle e observação dos efeitos.

Consoante a esse delineamento, a proposta de pesquisa tem por objetivo verificar como a aplicação do conceito RNP AR, considerando o relevo no entorno dos aeródromos Santos Dumont e Joinville (variáveis de estudo), poderia influenciar a determinação dos mínimos operacionais de aproximação (objeto de estudo) destes aeródromos.

A execução da pesquisa experimental será realizada por meio do software AutoCAD, que será utilizado para: (1) construir as trajetórias e as respectivas áreas de proteção do procedimento de aproximação RNP AR; (2) visualizar o relevo digitalizado no entorno dos aeródromos [6]; e (3) identificar os obstáculos mais significativos, os quais irão determinar os mínimos operacionais.

Após essa tarefa, será efetuada a comparação entre os resultados encontrados (aplicação do conceito RNP AR) e os atuais mínimos operacionais do aeroporto Santos Dumont e do aeroporto Joinville (grupo de controle), a fim de analisar a aplicabilidade do novo conceito. Isso permitirá alcançar o objetivo do problema de pesquisa, que, conforme mencionado, é aprofundar o conhecimento existente sobre a influência do relevo na operacionalidade de aeródromos.

Antes de iniciar o desenvolvimento do trabalho, é necessário apresentar o referencial teórico que irá balizar e fundamentar as ações a serem desenvolvidas.

III. REVISÃO DA LITERATURA

A pesquisa experimental relacionada ao conceito RNP AR é a parte principal do trabalho que será realizado. No entanto, antes que o experimento seja iniciado, será necessário entender o que são mínimos operacionais de aproximação e como os obstáculos influenciam a sua determinação. Para isso, serão utilizados dois documentos: ANEXO 6 [3] e CIRCEA 100-54 [2]. O primeiro documento tem por objetivo estabelecer as normas e práticas recomendadas a serem adotadas pelos países contratantes da OACI, no intuito de promover a segurança e a eficiência da navegação aérea internacional. A CIRCEA 100-54 [2] define quais são os documentos e características específicas que devem ser consideradas na elaboração de um procedimento de navegação aérea e na determinação dos seus mínimos operacionais.

O referencial teórico para a descrição do conceito RNP AR será o Manual RNP AR [7], onde podem ser encontradas informações sobre as características técnicas que devem ser observadas para o estabelecimento das trajetórias de voo, das áreas de proteção e para a análise do relevo no entorno dos aeródromos. Esse documento é a fonte oficial da OACI que fundamenta a elaboração de procedimentos de navegação aérea baseados no conceito RNP AR.

Com relação à metodologia empregada na condução da pesquisa experimental, a referência será o Manual de Elaboração de Procedimentos da OACI [7], onde podem ser encontradas informações sobre as etapas que, de forma geral, envolvem a elaboração de um procedimento de navegação aérea e a determinação dos mínimos operacionais.

Tendo em vista a necessidade de melhor conhecer os dois grandes referenciais dessa pesquisa, será realizada uma descrição mais detalhada sobre mínimos operacionais e conceito RNP AR. Isso será fundamental para a realização da pesquisa experimental, além de permitir a abordagem dos dois primeiros objetivos específicos desse trabalho.

A. MÍNIMOS OPERACIONAIS DE AERÓDROMOS

Os mínimos operacionais de aeródromo são valores que estabelecem os limites de uso de um aeroporto, com relação a operações de pouso e decolagem, e são definidos em termos de visibilidade, de Altitude Mínima de Descida (MDA) ou Altitude de Decisão (DA) e, se necessário, de condições de nebulosidade (teto) [3]. De forma equivalente, pode-se dizer que os mínimos operacionais são valores de referência utilizados pelos pilotos para verificar se as condições meteorológicas (teto e visibilidade), em determinado momento, permitem operações de pouso ou de decolagem em um aeródromo.

Os mínimos operacionais estão associados aos procedimentos de navegação aérea, que são, basicamente, trajetórias de voo, publicadas em cartas aeronáuticas (ver Apêndice A). Essas trajetórias são estabelecidas com o

objetivo principal de garantir uma adequada separação em relação aos obstáculos, tanto lateralmente, quanto verticalmente [2].

No plano horizontal, a separação lateral é estabelecida através de uma área de proteção, a qual é utilizada para identificar quais obstáculos devem ser considerados na determinação da altitude mais baixa em que a aeronave pode voar. No plano vertical, a separação em relação aos obstáculos é definida através de uma margem de segurança, denominada Altura Mínima de Liberação de Obstáculos (MOC) [8].

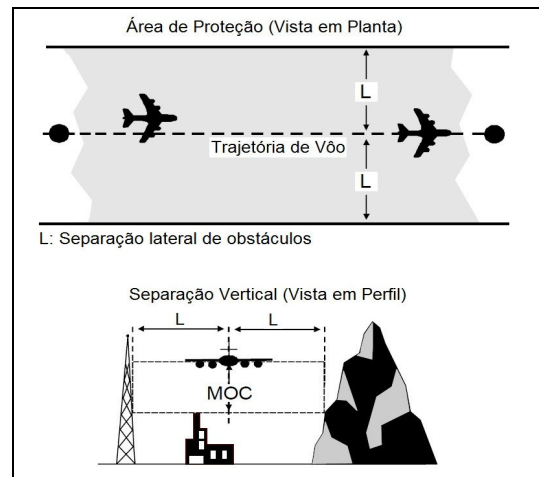


Figura 1 – Área de Proteção e MOC.

Fonte: Autor.

Conforme Gjerlev [8], os obstáculos localizados dentro da área de proteção, que envolve uma trajetória (ou segmento) de voo, devem ser analisados para que, desta forma, possa ser definido aquele que exerce maior influência no cálculo da altitude mínima que a aeronave poderá voar naquela trajetória. O obstáculo que determina a altitude mínima de um segmento é denominado “obstáculo de controle” daquele segmento.

Com relação aos mínimos operacionais, pode ser verificado que, de maneira geral, os valores de MDA/DA, teto e visibilidade do procedimento de navegação aérea são definidos pelo obstáculo de controle do segmento de aproximação final ou do segmento de aproximação perdida, conforme o seguinte [2]:

- $MDA/DA = (\text{Altitude do Obstáculo}) + MOC;$
- $\text{teto} = MDA/DA - (\text{Altitude da Pista});$
- $\text{visibilidade} = \text{Valor tabelado, dependente da MDA/DA.}$

Assim, observa-se que existe uma relação direta de dependência dos mínimos operacionais (MDA/DA, teto e visibilidade) quanto aos obstáculos localizados dentro da área de proteção, ou seja, quanto maior o obstáculo de controle, maiores serão os valores dos mínimos operacionais.

As técnicas utilizadas para a redução dos mínimos operacionais consistem em ajustar os parâmetros que definem o procedimento de navegação aérea, de modo a evitar que obstáculos mais significativos, sejam eles naturais (relevo) ou artificiais, permaneçam dentro da área de proteção das trajetórias de voo [2].

A partir dessas informações, é possível concluir que os procedimentos de navegação aérea que propiciem maior flexibilidade para a implementação de trajetórias de voo, assim como necessitam de menor área de proteção para seus segmentos, permitem que obstáculos mais significativos possam ser evitados, o que implicaria maior independência em relação ao relevo no entorno de aeródromos.

Nesse contexto, o próximo item descreve as principais características do conceito RNP AR, as quais serão utilizadas para a definição das trajetórias de voo, cálculos das áreas de proteção e o cálculo dos mínimos operacionais.

B. CONCEITO RNP AR

A Administração Federal da Aviação (FAA) dos Estados Unidos, em parceria com a indústria aeronáutica e companhias aéreas de seu país, desenvolveu critérios para buscar uma maior utilização da capacidade dos sistemas de navegação de bordo das aeronaves, no intuito de aumentar a acessibilidade de aeroportos situados em regiões montanhosas e com características operacionais associados a constantes condições meteorológicas adversas, que limitam a operacionalidade desses aeródromos [9].

Tendo em vista os resultados alcançados pela FAA, a OACI decidiu adotar critérios similares para sua implementação em âmbito mundial. Desta forma, essa organização revisou os critérios da FAA, de modo a harmonizar o conceito ao seu padrão de edição de seus documentos técnicos, e publicou, em dezembro de 2009, o Manual RNP AR (DOC 9905).

Conforme descrito nesse documento, procedimentos de navegação aérea baseados no conceito RNP AR permitem uma maior exploração dos modernos sistemas de navegação das aeronaves, o que seria mais adequado para resolver problemas de aeroportos com difícil acessibilidade em virtude de regiões montanhosas.

Além disso, procedimentos RNP AR, quando comparados a outros tipos de procedimentos, apresentam vantagens em termos operacionais, pois permitem a utilização de áreas de proteção reduzidas e o estabelecimento de trajetórias de voo em situações nas quais o emprego de outros tipos de procedimentos não seria possível ou satisfatória [9].

Um exemplo dos benefícios que podem ser alcançados através da implementação do conceito RNP AR refere-se ao aeroporto de Linzhi, Tibet. Este aeródromo, construído em uma região montanhosa, onde as condições meteorológicas que permitem o voo visual ocorrem em menos que 100 dias por ano, teve a primeira operação noturna, em 43 anos de existência do aeroporto, após a implantação de procedimentos RNP AR [10].

As principais características do conceito RNP AR, que permitem alcançar os benefícios operacionais mencionados, são, os seguintes [9]: (1) a área de proteção lateral, em relação a obstáculos, pode ser de até 0,2 NM (370 metros, aproximadamente); (2) permite o estabelecimento de trajetórias curvas, propiciando maior flexibilidade para a construção do procedimento de aproximação; (3) navegação

vertical baseada em altímetro (pressão), o que permite à aeronave descer a até 75 metros de altura em relação à pista.

IV. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS: PESQUISA EXPERIMENTAL

Após discorrer sobre o que são mínimos operacionais de aeródromo e a influência que os obstáculos exercem em sua determinação, faz-se necessário determinar os mínimos operacionais utilizando as características do conceito RNP AR. Com isso será possível atingir um dos objetivos específicos propostos e abordar, de forma mais direta, o principal foco do trabalho.

Conforme previsto no DOC 9368 [7], o cálculo de mínimos operacionais é um processo iterativo, composto pelas seguintes etapas principais: (1) preparação da base de dados; (2) definição e cálculo de parâmetros das trajetórias de voo; (3) construção e desenho da área de proteção; (4) análise de obstáculos verificados dentro da área de proteção; (5) determinação dos mínimos operacionais.

A. PREPARAÇÃO DA BASE DE DADOS

A base de dados de relevo é proveniente da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que disponibiliza, em sua página na internet, uma série de mapas digitais do território nacional [6]. A partir desse *site*, podem ser selecionados os arquivos contendo os mapas digitais do entorno dos aeródromos Santos Dumont e de Joinville, os quais, além das informações sobre os obstáculos, também podem ser utilizados como cenário para o desenho das trajetórias do procedimento e de suas respectivas áreas de proteção.

As informações referentes aos aeródromos, tais como altitude da cabeceira e da pista, constam na Publicação de Informações Aeronáuticas (AIP-MAP) e são necessárias para o cálculo dos parâmetros do procedimento RNP AR a ser desenvolvido.

Na figura 2, podem ser observadas a pista de pouso dos aeródromos Santos Dumont e de Joinville e as curvas de nível que representam os obstáculos no seu entorno.

B. DEFINIÇÃO DAS TRAJETÓRIAS

As trajetórias devem ser estabelecidas de modo a serem evitados os obstáculos mais significativos. Nessa etapa, a trajetória é definida em termos ideais, ou seja, trata-se de uma intenção. Ainda não se pode garantir que a aplicação dos critérios RNP AR irá permitir o estabelecimento das trajetórias idealizadas.

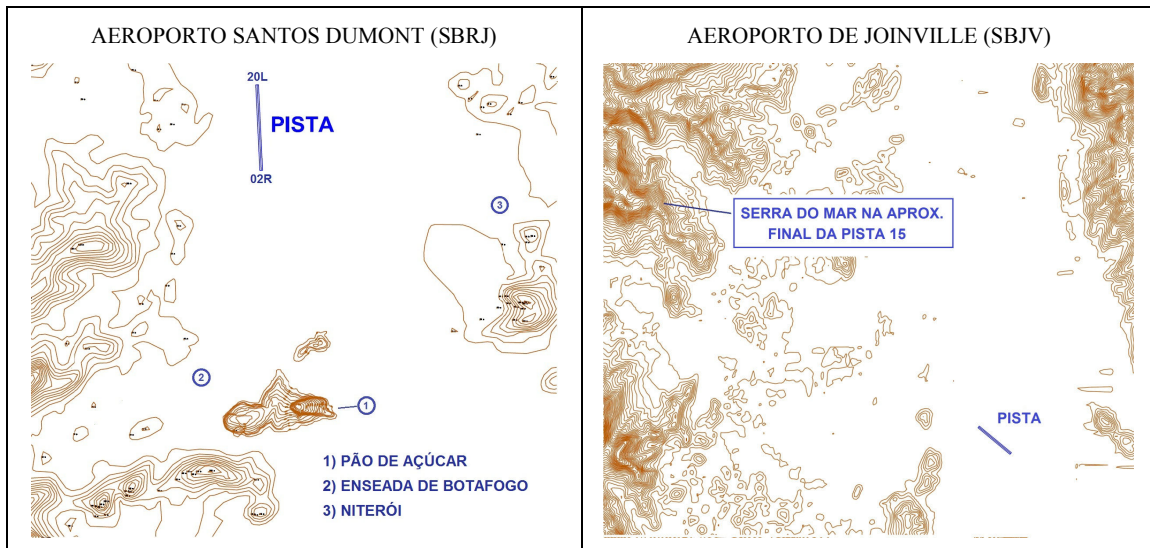


Figura 2 – Relevo no entorno dos aeródromos.
 Fonte: Autor.

Os principais obstáculos a serem superados encontram-se no setor de aproximação final da pista 02R do aeroporto Santos Dumont e da pista 15 do aeroporto de Joinville. No caso do aeroporto Santos Dumont, podem ser identificados o Pão de Açúcar e Morro da Urca e, para o aeroporto de Joinville, o relevo referente à Serra do Mar.

Uma técnica que pode ser utilizada para evitar esses obstáculos refere-se ao estabelecimento de uma trajetória em curva, denominada RF (*Radius to Fix*, ou Raio para o Ponto, tradução do autor), a ser definida antes que a aeronave possa efetuar o alinhamento com o eixo da pista e efetuar o pouso.

Conforme o DOC 9905 [9], a trajetória em curva na aproximação final deve posicionar a aeronave a certa distância mínima da cabeceira, alinhada com a pista. Essa distância, ou posição, é denominada *Final Roll-Out Point*

(FROP), ou Ponto de Estabilização Após a Curva (tradução do autor).

Verifica-se que trajetória de aproximação para o aeroporto Santos Dumont poderia ser definida pelo setor sudoeste (Enseada de Botafogo) ou pelo sul (Boca da Barra). Os obstáculos destacados na figura (verificar a numeração das figuras) são: (1) Pão de Açúcar e Morro da Urca e (2) Morro Santa Marta. Para o aeroporto de Joinville, observa-se que a aproximação poderia ser efetuada pelos setores sudoeste ou norte do aeródromo.

Enfatiza-se que a figura 3 apresenta as intenções de trajetórias a serem construídas, para evitar os obstáculos na aproximação final, cuja viabilidade deve ser confirmada através do cálculo dos parâmetros dos procedimentos. Assim, a próxima etapa da pesquisa experimental será calcular a

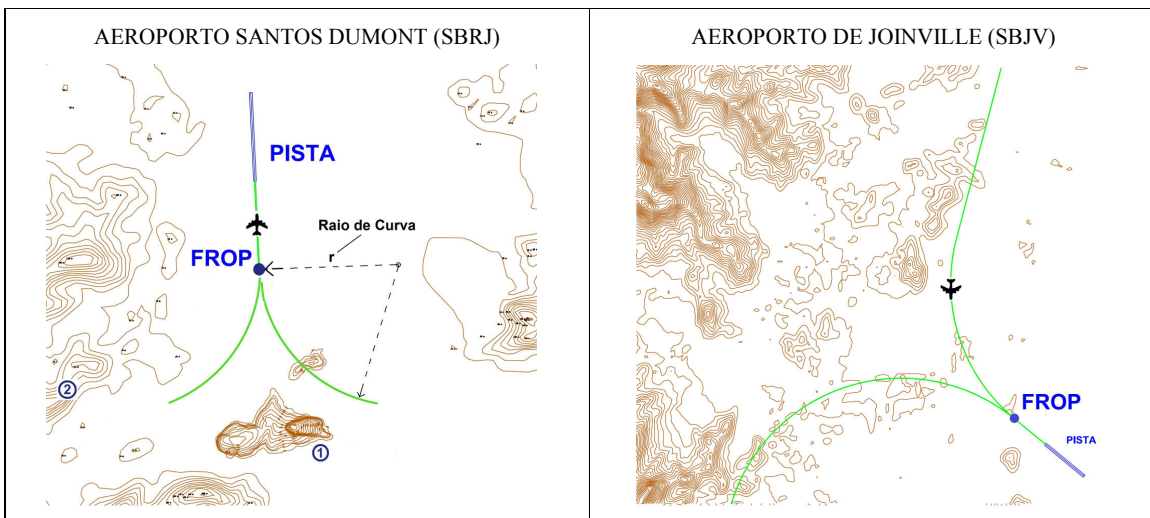


Figura 4 – Trajetórias em curva para evitar obstáculos na aproximação final.
 Fonte: Autor.

posição do FROP e o raio de curva (r), a fim de traçar a trajetória da aeronave, calculada de acordo com os critérios previstos em OACI [9].

Além desses, outros parâmetros serão calculados no próximo item, pois são importantes para a definição da Superfície de Avaliação de Obstáculos (OAS).

C. CÁLCULOS DOS PARÂMETROS

Os parâmetros iniciais relativos às aeronaves e aos aeródromos, considerados nessa pesquisa, e necessários para o cálculo dos demais parâmetros do procedimento, são apresentados na tabela 1.

TABELA I – PARÂMETROS INICIAIS.

Parâmetro	Santos Dumont	Joinville
Elevação da THR	10 ft	15 ft
Elevação do Aeródromo	11 ft	15 ft
Velocidade Indicada (IAS)	160 Kt	160 Kt
Ângulo da Trajetória Vertical (VPA)	3,0°	3,0°
Altura de Cruzamento da THR (RDH)	50 ft	50 ft
Categoria da Aeronave	CAT C	CAT C
Precisão de Navegação na Aproximação Final	RNP 0.3	RNP 0.3
Ângulo de Inclinação	18°	18°

Fonte: AIP-MAP e valores-padrão previstos no DOC 9905.

Com base nesses valores, e considerando as fórmulas contidas no DOC 9905 [9], podem ser calculados os parâmetros complementares do procedimento, necessários para a definição das trajetórias e áreas de proteção, conforme apresentados na tabela 2.

TABELA II – PARÂMETROS CALCULADOS DAS TRAJETÓRIAS DOS PROCEDIMENTOS.

Parâmetro	Santos Dumont	Joinville
Raio de Curva (r)	3,13 NM	3,13 NM
FROP	1,41 NM	1,41 NM
Separação Lateral (Aprox. Final)	0.6 NM	0.6 NM
X_{OAS}	1888 m	1888 m
α_{OAS}	2,825°	2,825°

Fonte: Autor.

OBS: Os valores dos parâmetros encontrados são iguais devido à grande similaridade das características dos aeródromos, conforme pode ser observado na tabela 1.

D. DESENHO DA ÁREA DE PROTEÇÃO

Os parâmetros definidos servem como base para o traçado das trajetórias do procedimento no mapa digital do relevo, as quais são desenhadas juntamente com as suas respectivas áreas de proteção.

A figura 4 demonstra o traçado da trajetória, em verde, e sua área de proteção, em azul, conforme os parâmetros do procedimento calculados para cada aeródromo.

Verifica-se que a trajetória escolhida para o aeródromo de Joinville considera uma aproximação pelo setor norte, uma vez que estaria mais afastada da Serra do Mar (obstáculos mais significativos). Um raciocínio semelhante foi utilizado para definir a trajetória para o aeródromo Santos Dumont, cuja aproximação foi idealizada para ser efetuada pela Boca da Barra (setor sudeste).

Também pode ser observado que a trajetória de aproximação perdida não está representada na figura 4, pois não há obstáculos significativos localizados dentro da área de proteção desse segmento.

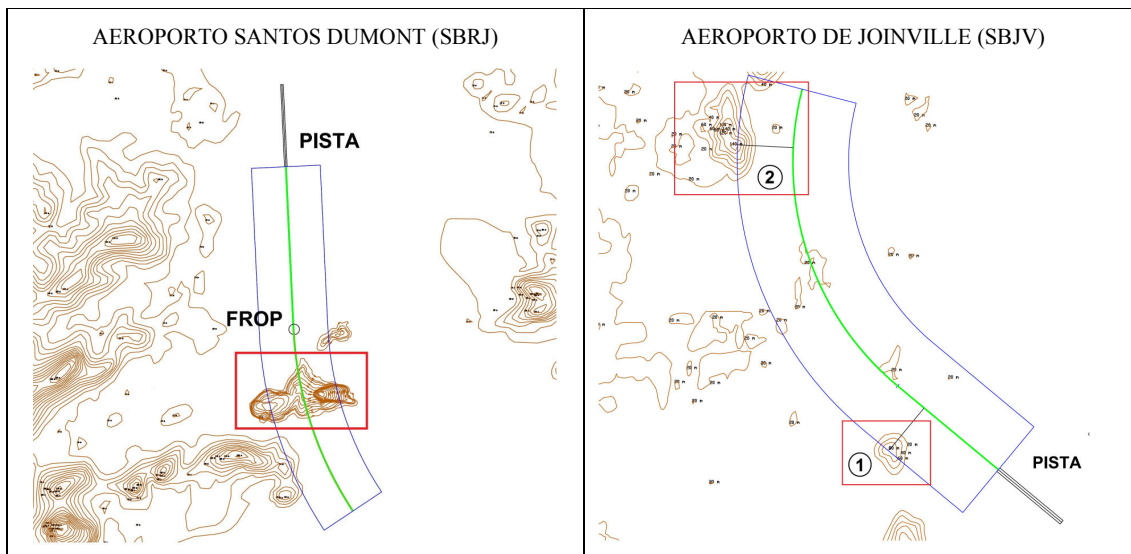


Figura 4 – Trajetórias, Área de Proteção e Relevo.

Fonte: Autor.

E. ANÁLISE DE OBSTÁCULOS

De acordo com o DOC 9905 [9], todos os obstáculos localizados dentro da área de proteção devem ser analisados para que seja definido aquele que exerce maior influência na determinação dos mínimos operacionais.

Conforme pode ser observado na figura 4, a trajetória calculada para a aproximação da pista 02R do aeródromo Santos Dumont, e sua respectiva área de proteção, passam por sobre o Pão de Açúcar e Morro da Urca (destacados em vermelho), frustrando a expectativa de serem evitados os obstáculos mais significativos.

Após a identificação dos obstáculos mais significativos, dentro da área de proteção (plano horizontal), procede-se à verificação da influência dos mesmos no plano vertical.

De acordo com o DOC 9905 (OACI, 2009), os obstáculos que não violam (penetram) a Superfície OAS não precisam ser considerados no cálculo dos mínimos operacionais do procedimento. Para verificar se um determinado obstáculo viola a Superfície OAS, pode-se utilizar a seguinte equação deduzida:

$$\text{Violação} = (\text{Altitude Obst.}) - \{(\text{Altitude THR}) + [(\text{Dist. Obst.}) - X_{\text{OAS}}] * \tan(\alpha_{\text{OAS}})\}$$

Considerando a equação acima, bem como os parâmetros constantes nas tabelas 1 e 2, foram efetuados os cálculos para verificar se os obstáculos violam a Superfície OAS, resultando nos seguintes valores:

TABELA III – OBSTÁCULOS DENTRO DA ÁREA DE PROTEÇÃO (SANTOS DUMONT).

Obstáculos	Distância (THR 02R)	Altitude	Violação da OAS
Pão de Açúcar	3570 m	375 m	289 m
Morro do Corcovado	3770 m	200 m	104 m

Fonte: Autor.

Dessa forma, o Pão de Açúcar, por violar a Superfície OAS e ser o obstáculo mais elevado, passa a ser considerado o obstáculo de controle do segmento de aproximação final.

No caso do aeroporto de Joinville, verifica-se que a trajetória em curva estabelecida permitiu evitar a região montanhosa próxima ao setor de aproximação da pista 15. Podem-se observar, na figura 4, que foram identificados dois obstáculos (morros destacados em vermelho) dentro da área de proteção e que, por esse motivo, devem ser analisados para verificar qual é o obstáculo de controle do segmento de aproximação final. As características dos obstáculos e a análise efetuada são apresentadas na tabela 4.

TABELA IV – OBSTÁCULOS DENTRO DA ÁREA DE PROTEÇÃO (JOINVILLE).

Obstáculos	Distância (THR 15)	Altitude	Violação da OAS
Obstáculo 1 (O ₁)	1925 m	80 m	78 m
Obstáculo 2 (O ₂)	8000 m	140 m	Não viola

Fonte: Autor.

Verifica-se que o obstáculo O₂, apesar de ter maior altitude, não viola a Superfície OAS do procedimento RNP AR do aeroporto de Joinville. Assim, o obstáculo O₁ torna-se o obstáculo de controle do segmento.

F. DETERMINAÇÃO DOS MÍNIMOS OPERACIONAIS

Os parâmetros referentes aos aeródromos, bem como os obstáculos de controle encontrados e as fórmulas mencionadas anteriormente, possibilitam o cálculo dos seguintes mínimos operacionais:

TABELA 5 – MÍNIMOS OPERACIONAIS RNP AR.

Aeródromo	DA	Teto	Visibilidade
Santos Dumont	1382 ft	1400 ft	5000 m
Joinville	413 ft	400 ft	1800 m

Fonte: Autor.

G. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A comparação entre os atuais mínimos operacionais e aqueles calculados no item anterior, após a aplicação do conceito RNP AR, permite verificar se foi possível encontrar valores menos restritivos à operação nos aeródromos Santos Dumont e de Joinville.

Os atuais mínimos operacionais para a pista 02R do aeródromo Santos Dumont, e para a pista 15 de Joinville, apresentados na tabela 6, são referentes aos procedimentos de aproximação para circular, ou seja, relativos a aproximações indiretas para pouso nessas pistas.

TABELA VI – MÍNIMOS OPERACIONAIS PARA CIRCULAR.

Aeródromo	MDA	Teto	Visibilidade
Santos Dumont	1300 ft	1300 ft	4800 m
Joinville	1040 ft	1100 ft	4800 m

Fonte: AIP-MAP.

Após conhecer os mínimos operacionais atuais, é possível efetuar o confronto destes valores com os calculados de acordo com o conceito RNP AR (ver tabela 5). Conforme pode ser observado, a aplicação desse conceito permite o estabelecimento de mínimos operacionais menores que os atuais para a aproximação na pista 15 do aeródromo de Joinville, propiciando significativa vantagem operacional.

TABELA VII – COMPARAÇÃO ENTRE OS MÍNIMOS OPERACIONAIS.

Aeródromo	MDA/DA		Teto		Visibilidade	
	Circular	RNP AR	Circular	RNP AR	Circular	RNP AR
Santos Dumont	1300 ft	1382 ft	1300 ft	1400 ft	4800 m	5000 m
Joinville	1040 ft	413 ft	1100 ft	400 ft	4800 m	1800 m

Fonte: Autor.

No entanto, o mesmo resultado não foi encontrado para o aeródromo Santos Dumont. Observa-se, na tabela 7, que a aplicação do conceito RNP AR fez com que os mínimos operacionais se tornassem ainda maiores que os atuais. Essa situação implica piora nas condições operacionais de aproximação no aeródromo.

Isso aconteceu porque a aplicação do conceito RNP AR não permitiu o estabelecimento de uma trajetória que evitasse o obstáculo mais significativo (Pão de Açúcar), frustrando a expectativa depositada neste conceito.

V. CONCLUSÃO

A Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) publicou, em 2009, um conceito de navegação aérea, denominado RNP AR, que permite uma maior exploração dos sistemas de bordo das aeronaves e, conseqüentemente, o alcance de significativos benefícios em relação aos demais tipos procedimentos de navegação aérea, principalmente quanto à maior flexibilidade para o estabelecimento de trajetórias de voo.

Esse novo conceito despertou o interesse em se aprofundar o entendimento sobre a influência que o relevo exerce na determinação dos mínimos operacionais de aproximação de um aeródromo. Assim, considerando o cenário desafiante imposto pelo relevo no entorno dos aeroportos Santos Dumont e de Joinville, o presente estudo teve por objetivo analisar o seguinte problema de pesquisa: Até que ponto a aplicação do conceito RNP AR poderia reduzir a influência do relevo na determinação dos mínimos operacionais de aproximação da pista 02R do aeroporto Santos Dumont e da pista 15 do aeroporto de Joinville?

Após a realização da pesquisa experimental, verificou-se que a aplicação do conceito RNP AR permitiu evitar os obstáculos mais significativos na aproximação final da pista 15 do aeroporto de Joinville, o que possibilitou a redução dos mínimos operacionais do aeródromo (DA, teto e visibilidade), para 413 ft, 400 ft e 1800 m, respectivamente. Nesse caso, a utilização de trajetórias em curva na aproximação final, uma das características do conceito RNP AR, significou uma menor influência dos obstáculos na determinação dos mínimos. Considerando que a pista 15 de Joinville não possui procedimentos de aproximação direta, a aplicação do conceito poderia melhorar as condições operacionais do aeródromo.

No entanto, o mesmo resultado não foi observado para o aeródromo Santos Dumont. Verificou-se, inclusive, que a

aplicação do conceito RNP AR resultou mínimos operacionais superiores aos do procedimento para circular do aeródromo. Desta forma, conclui-se que os benefícios anunciados pelo conceito RNP AR não podem ser alcançados em qualquer situação e que uma análise criteriosa deve ser realizada previamente, a fim de verificar a sua viabilidade.

Além disso, a impossibilidade de serem estabelecidos mínimos operacionais menos restritivos para a pista 02R do aeroporto Santos Dumont evidenciou, uma vez mais, a importância da consideração do relevo na escolha dos melhores locais para a construção de aeroportos.

Finalmente, ressalta-se que o estudo realizado quanto à aplicabilidade do conceito RNP AR, por ser pioneiro no âmbito do SISCEAB, poderia ser a base para o desenvolvimento de novos estudos sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

- [1] INFRAERO (Org.). Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. **Aeroporto Santos-Dumont**. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/rio-de-janeiro/aeroporto-santos-dumont.html>>. Acesso em: 14 mar. 2011.
- [2] BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **AIP-MAP: Publicação de Informações Aeronáuticas**. Brasília, DF, 2011.
- [3] OACI. Organização da Aviação Civil Internacional. **ANNEX 6: Operation of Aircraft - Part I, International Commercial Air Transport — Aeroplanes**. Montreal: OACI, 2010.
- [4] SIQUEIRA, C. A. **Navegação aérea segundo o conceito CNS/ATM: Custos e benefícios**. 2005. 129 f. Tese (Mestre) - ITA, São José Dos Campos, 2005.
- [5] GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- [6] MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 25 abr. 2011.
- [7] OACI. **DOC 9368: Instrument Flight Procedures Construction Manual**. Montreal: OACI, 2002.
- [8] GJERLEV, Jens. **Instrument Flight Procedures**. Oslo: Pilotforlaget, 2002.
- [9] OACI. **DOC 9905: Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual**. Montreal: OACI, 2009.
- [10] NAVERUS (Ed.). **Access on top of the world: Linzhi**. Disponível em: <http://www.naverus.com/Community/Case_Studies/Linzhi.htm>. Acesso em: 24 abr. 2011.