

ESTUDO DE CASO

Estudo Sobre Mínimos Operacionais Através do Conceito de Performance de Navegação Requerida: autorização obrigatória (RNP AR)

Study on the Operating Minima According to the Required Navigation Performance: mandatory authorization (RNP AR)

Estudio Sobre Minimos Operacionales a Través del Concepto de Desempeño de Navegación Requerida: autorización obligatoria (RNP AR)

Capitão QOECTA Clóvis Fernandes Júnior
Segundo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA II)
Divisão de Operações
Curitiba - PR
juniorcta@gmail.com

RESUMO

A publicação de um novo conceito de navegação aérea, denominado RNP AR, fez despertar o interesse em se aprofundar o conhecimento sobre os aspectos que interferem no cálculo dos mínimos operacionais de um aeródromo, particularmente quanto à influência exercida por obstáculos. Consoante a essa inquietação, o presente trabalho teve por objetivo 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. Conforme a metodologia utilizada, o desenvolvimento do trabalho foi iniciado com a apresentação do referencial teórico, principalmente quanto à definição de mínimos operacionais de aeródromo e descrição do conceito RNP AR. Na sequência, foi realizada a pesquisa experimental que propiciou a aplicação dos conhecimentos descritos e o conseqüente cálculo dos mínimos operacionais para os aeródromos. Ao final da pesquisa, após a comparação com os atuais mínimos operacionais dos aeródromos, verificou-se que a aplicação do conceito RNP AR permitiu a redução dos mínimos operacionais do aeroporto de Joinville, o que poderia promover uma melhora nas condições operacionais neste aeródromo. 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 uma análise criteriosa deve ser efetuada, antes de sua implementação.

Palavras-chave: Aeródromo. Mínimos Operacionais. Procedimentos de Aproximação. RNP AR.

Recebido / Received / Recebido
15/09/11

Aceito / Accepted / Acepto
14/03/12

ABSTRACT

The publication of a new concept of air navigation, called RNP AR, triggered an interest in increasing the knowledge on the aspects that affect aerodrome operating minima calculation, particularly regarding the obstacle influence. In this sense, the present study aimed to examine to what extent the concept RNP AR could reduce the influence that the terrain exerts on determining the approach operating minima of Santos Dumont 02R runway and of Joinville Airport 15 runway. According to the proposed methodology, the work started with the presentation of the theoretical framework, particularly regarding the definition of aerodrome operating minima and the description of RNP AR concept. Then, experimental research was conducted and the aerodromes operating minima were calculated. At the end of the study, after comparing the results with the current operating minima, it was observed that the RNP AR concept led to a reduction of the aerodrome operating minima of Joinville Airport, which could promote an improvement in the operational conditions in this aerodrome. However, the same result was not achieved at the Santos Dumont airport, which means that the RNP AR concept cannot be applied to all situations and that a careful analysis must be performed before its implementation.

Keywords: Aerodrome. Operating minima. Approach Procedures. Air Navigation Procedures. RNP AR.

RESUMEN

La publicación de un nuevo concepto de navegación aérea, denominado RNP AR, hizo despertar el interés en profundizar el conocimiento sobre los aspectos que interfieren en el cálculo de los mínimos operacionales de un aeródromo, especialmente relacionado a la influencia ejercida por obstáculos. Consonante a esa inquietud, el presente trabajo tuvo por objetivo analizar hasta que punto el concepto RNP AR podría reducir la influencia que el relieve ejerce en la determinación de los mínimos operacionales de acercamiento de la pista 02R del aeropuerto Santos Dumont y de la pista 15 del aeropuerto de Joinville. De acuerdo con la metodología utilizada, el desarrollo del trabajo fue iniciado con la presentación del referencial teórico, principalmente cuanto a la definición de mínimos operacionales de aeródromo y descripción del concepto RNP AR. En la secuencia fue realizado el estudio experimental que propició la aplicación de los conocimientos descritos y el cálculo de los mínimos operacionales para los aeródromos. Al final del estudio, tras la comparación con los actuales mínimos operacionales de los aeródromos, se verificó que la aplicación del concepto RNP AR permitió la disminución de los mínimos operacionales del aeropuerto de Joinville, lo que podría promover una mejora en las condiciones operacionales en este aeródromo. Sin embargo, el mismo resultado no fue alcanzado en el caso del aeropuerto Santos Dumont, demostrando que dicho concepto no se aplica a cualquier situación y que un análisis juicioso debe ser efectuado antes del implemento.

Palabras-clave: Aeródromo. Mínimos Operacionales. Procedimientos de Acercamiento. Procedimientos de Navegación Aérea.

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 esses motivos, o aeroporto preferido por empresários e turistas (INFRAERO, 2011). 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 à 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, por meio de procedimentos de aproximação para circular, uma vez que, conforme os critérios previstos (BRASIL, 2011), 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 civil¹, publicou um novo conceito de procedimento de navegação aérea, denominado *Required Navigation Performance Authorization Required* (RNP AR²), 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 (OACI, 2009).

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 (SIQUEIRA, 2005).

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, dessa forma, vão impor novos desafios para elevar o número de aeronaves voando no espaço aéreo brasileiro (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2011).

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 por meio 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, dessa forma, o conhecimento adquirido ao final do trabalho de pesquisa.

O objetivo geral deste artigo será, então, 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, assim, 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, 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.

1 METODOLOGIA

O objetivo desta pesquisa é analisar se a aplicação do conceito RNP AR poderia reduzir a influência que obstáculos exercem na determinação dos mínimos operacionais de um aeroporto. Segundo Gil (2007), 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

¹ O Brasil é signatário da OACI e procura alinhar-se às diretrizes emitidas por esta Organização.

² Performance de Navegação Requerida Autorização Obrigatória (Tradução do autor).

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 (2007), 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. Também serão consultados os documentos internacionais da OACI e as instruções e regulamentos do Comando da Aeronáutica que tratam do tema que será pesquisado. Será efetuada ainda a coleta de informações sobre as características físicas e operacionais dos aeródromos Santos Dumont e de Joinville (BRASIL, 2011), assim como do relevo no seu entorno, para que o experimento possa ser executado.

A pesquisa será realizada por meio do *software* AutoCAD³, que será utilizado para construir as trajetórias e as respectivas áreas de proteção do procedimento de aproximação RNP AR⁴; visualizar o relevo digitalizado no entorno dos aeródromos (MIRANDA, 2011); e 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 de Joinville (grupo de controle), a fim de analisar a aplicabilidade do novo conceito.

2 MÍNIMOS OPERACIONAIS – FUNDAMENTAÇÃO DOCUMENTAL

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 (OACI, 2010) e CIRCEA 100-54 (BRASIL, 2011). 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 (BRASIL, 2011) define quais são os documentos e as

características específicas que devem ser considerados 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 (OACI, 2009), em que 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 baseada no conceito RNP AR⁵.

Com relação à metodologia empregada na condução da pesquisa experimental, a referência será o Manual de Elaboração de Procedimentos da OACI (OACI, 2002), em que 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.

2.1 MÍNIMOS OPERACIONAIS DE AERÓDROMO

Os mínimos operacionais de aeródromo são valores que estabelecem os limites de uso de um aeroporto, com relação às 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) (OACI, 2011). 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. Essas trajetórias são estabelecidas com o objetivo principal de garantir uma adequada separação em relação aos obstáculos, tanto lateralmente, quanto verticalmente (BRASIL, 2011).

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

³ AutoCAD é um software do tipo CAD (Computer Aided Design, ou desenho auxiliado por computador), utilizado principalmente para a elaboração de desenhos técnicos.

⁴ Na presente pesquisa, somente serão considerados os segmentos de aproximação final e de aproximação perdida que, de forma geral, são os que determinam os mínimos operacionais.

⁵ Os critérios descritos nesse manual buscam abranger um conjunto maior de aeronaves e, em certo sentido, podem ser considerados conservadores, quando comparados à real capacidade de navegação de aeronaves com sistemas mais modernos.

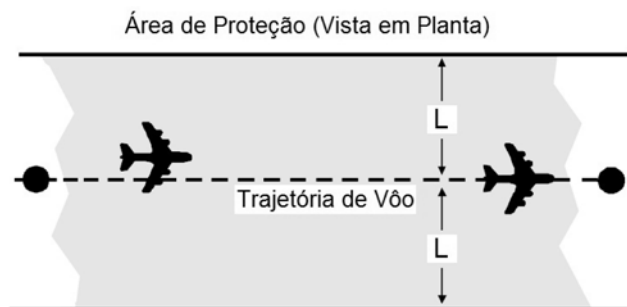
pode voar. No plano vertical, a separação em relação aos obstáculos é definida através de uma margem de segurança, denominada Altura Mínima de Liberação de Obstáculos (MOC) (GJERLEV, 2002). Ver figura 1.

Conforme Gjerlev (2002), os obstáculos localizados dentro da área de proteção, que envolve uma trajetória (ou segmento) de voo, devem ser analisados para que, dessa 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” daquela seção do procedimento.

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 (BRASIL, 2011):

- MDA/DA = (Altitude do Obstáculo) + MOC;
- teto = MDA/DA – (Altitude da Pista);
- visibilidade = 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.



L: Separação lateral de obstáculos

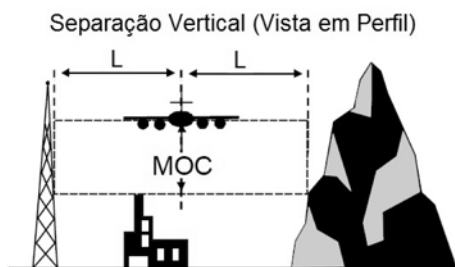


Figura 1: Área de Proteção e MOC.

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 (BRASIL, 2011).

A partir dessas informações, é possível concluir que os procedimentos de navegação aérea, que propiciam 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.

2.2 O CONCEITO RNP AR

A Administração Federal da Aviação (FAA) dos Estados Unidos, em parceria com a indústria aeronáutica e companhias aéreas desse 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 (OACI, 2009).

Tendo em vista os resultados alcançados pela FAA, a OACI decidiu adotar critérios similares para sua implementação em âmbito mundial. Dessa 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 AR⁷, quando comparados a outros tipos de procedimentos, apresentam vantagens em termos operacionais, pois permitem a utilização de áreas de proteção reduzidas e, conseqüentemente, o estabelecimento de trajetórias de voo em situações nas quais o emprego de outros tipos de procedimentos não seria possível ou satisfatório (OACI, 2009).

Um exemplo dos benefícios que podem ser alcançados através da implementação do conceito RNP

⁶ Dependendo do tipo de procedimento, também poderá ser utilizada a altitude do aeródromo.

⁷ Procedimentos de navegação aérea elaborados com base no conceito RNP AR.

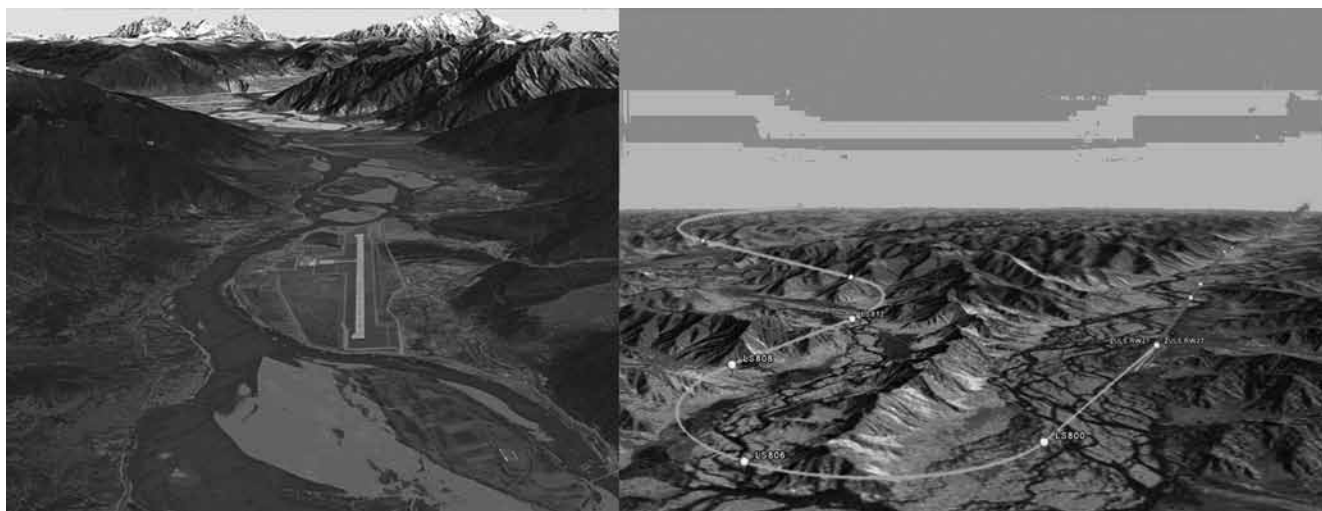


Figura 2: Procedimentos RNP AR para o aeroporto de Linzhi, Tibet.
Fonte: NAVERUS, 2011.

AR refere-se ao aeroporto de Linzhi, Tibet (figura 2). Esse 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 (NAVERUS, 2011).

As principais características do conceito RNP AR, que permitem alcançar os benefícios operacionais mencionados, são os seguintes (OACI, 2009):

a) a área de proteção lateral, em relação aos obstáculos, pode ser de até 0,2 NM (370 metros, aproximadamente); e

b) permite o estabelecimento de trajetórias curvas, propiciando maior flexibilidade para a construção do procedimento de aproximação;

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

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS: PESQUISA EXPERIMENTAL

Conforme previsto no DOC 9368 (OACI, 2002), o cálculo de mínimos operacionais é um processo interativo, composto pelas seguintes etapas principais:

- a) preparação da base de dados;
- b) definição e cálculo de parâmetros das trajetórias de voo;
- c) construção e desenho da área de proteção;
- d) análise de obstáculos verificados dentro da área de proteção; e
- e) determinação dos mínimos operacionais.

⁸ Linhas imaginárias que unem pontos do relevo de igual altitude.

3.1 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 (MIRANDA, 2011). 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 3, podem ser observadas a pista de pouso dos aeródromos Santos Dumont e de Joinville e as curvas de nível⁸ que representam os obstáculos no seu entorno. Para a composição da figura, foi necessário carregar o arquivo de mapa digital, proveniente da EMBRAPA, no *software AutoCAD* e, em seguida, desenhar (plotar) as pistas dos aeródromos.

3.2 DETERMINAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS DE VOO DO PROCEDIMENTO

As trajetórias são 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 e os parâmetros do procedimento a serem calculados irão permitir o estabelecimento das trajetórias idealizadas.

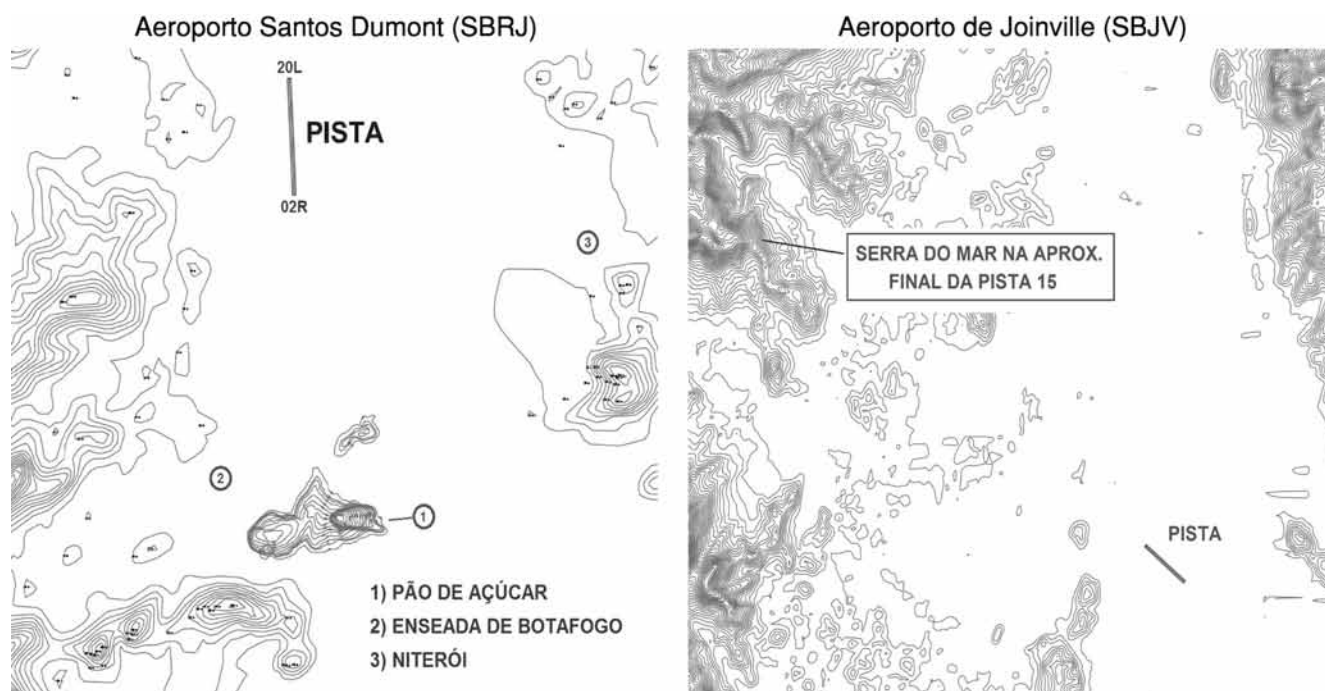


Figura 3: Relevo no entorno dos aeródromos.

Os principais obstáculos a serem superados (figura 3) 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 (figura 4).

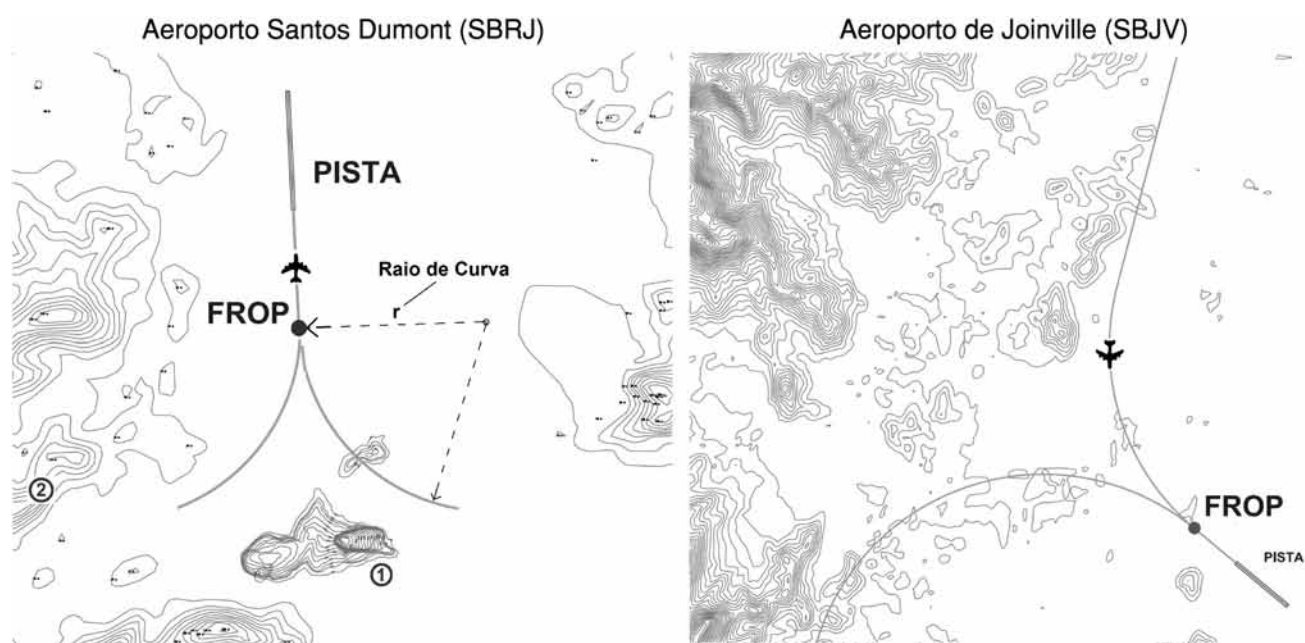


Figura 4: Trajetórias em curva para evitar obstáculos na aproximação final.

Conforme o DOC 9905 (OACI, 2009), 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).

A figura 4 permite verificar 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 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 4 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 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 (2009).

Além desses, outros parâmetros serão calculados no próximo item, pois são importantes para a definição da Superfície de Avaliação de Obstáculos (OAS), a qual será abordada, em maiores detalhes, no item 3.5 (Análise de Obstáculos).

3.3 CÁLCULO DE PARÂMETROS DO PROCEDIMENTO

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

Com base nesses valores, considerando as fórmulas contidas no DOC 9905 (OACI, 2009), podem ser calculados os parâmetros complementares do procedimento, necessários para a definição das trajetórias e áreas de proteção.

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

Tabela 1: Parâmetros iniciais dos procedimentos.

Parâmetro	Santos Dumont	Joinville
Cabeceira (THR)	02R	15
Elevação da THR	10 ft ⁹	15 ft
Elevação do Aeródromo	11 ft	15 ft
Velocidade Indicada (IAS) na Aproximação Final	160 Kt ¹⁰	160 Kt
Ângulo da Trajetória Vertical (VPA)	3,0°	3,0°
Altura de Cruzamento da THR (RDH)	50 ft	50 ft
Categoria da Aeronave ¹¹	CAT C	CAT C
Comprimento do Segmento de Aproximação Final	5 NM	5 NM
Precisão de Navegação na Aproximação Final ¹²	RNP 0.3	RNP 0.3
Ângulo de Inclinação (bank angle)	18°	18°

Fonte: AIP-MAP (2011) e valores-padrão previstos no DOC 9905 (OACI, 2009).

Tabela 2: Parâmetros calculados das trajetórias dos procedimentos.

Parâmetro	Santos Dumont	Joinville
Raio de Curva (r)	3,13 NM	3,13 NM
FROP	1,41 NM (da THR 02R)	1,41 NM (da THR 15)
Separação Lateral (Aprox. Final)	0.6 NM	0.6 NM
X_{OAS} ¹³	1888 m	1888 m
α_{OAS} ¹⁴	2,825°	2,825°

3.4 CONSTRUÇÃO E DESENHO DA ÁREA DE PROTEÇÃO

Os parâmetros definidos no item anterior 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.

⁹ 1 NM (milha náutica) = 1852 m (metros) = 6076 ft (pés).

¹⁰ 1 Kt (nó) = 1,852 Km/h (quilômetros por hora).

¹¹ Classificação que define o tipo de aeronave que pode operar no aeródromo.

¹² A precisão de navegação define a separação lateral de obstáculos (área de proteção).

¹³ XOAS é a distância da cabeceira da pista ao início da Superfície OAS.

¹⁴ OAS é o ângulo da Superfície OAS.

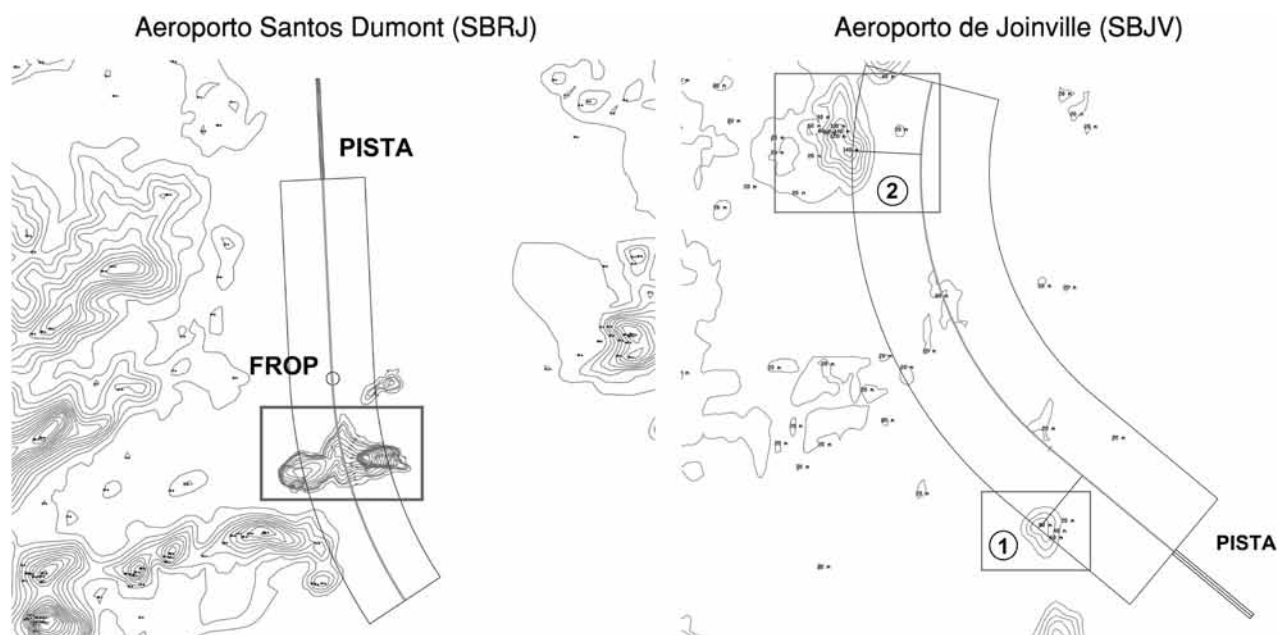


Figura 5: Trajetórias, Área de Proteção e Relevô.

A figura 5 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 (obstáculo mais significativo). 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 referida figura, pois não há obstáculos significativos localizados dentro da área de proteção desse segmento.

3.5 ANÁLISE DE OBSTÁCULOS

De acordo com o DOC 9905 (OACI, 2009), 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.

A figura 5 permite a visualização conjunta do relevo no entorno dos aeródromos e das trajetórias de voo, o que possibilita a identificação dos obstáculos mais significativos localizados dentro da área de

proteção dos segmentos estabelecidos para os dois aeródromos.

3.5.1 AERÓDROMO SANTOS DUMONT

Conforme pode ser observado na figura 5, a trajetória calculada para a aproximação da pista 02R e sua respectiva área de proteção passam por sobre o Pão de Açúcar e Morro da Urca (destacados), frustrando a expectativa de serem evitados os obstáculos mais significativos. Mesmo que a trajetória em curva fosse definida pela Enseada de Botafogo (setor sudoeste), ainda assim esses obstáculos estariam dentro da área de proteção. As características dos obstáculos, consideradas neste trabalho, são apresentadas na Tabela 3.

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:

$$\text{Violação} = (\text{Altitude Obst.}) - \{(\text{Altitude THR}) + [(\text{Dist. Obst.}) - X_{\text{OAS}}] * \tan(\alpha_{\text{OAS}})\}^{15}$$

¹⁵ Dist. Obst.: Distância do obstáculo à cabeceira da pista.

Considerando a equação acima, assim 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 3: Obstáculos dentro da área de proteção (Santos Dumont).

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

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.

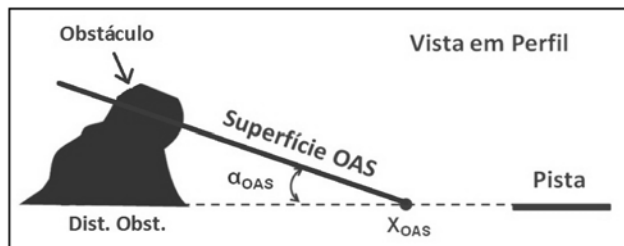


Figura 6: Superfície OAS (figura ilustrativa).

3.5.2 AERÓDROMO DE JOINVILLE

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. Pode ser observado, na figura 5, que foram identificados dois obstáculos (morros destacados) 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 4: Obstáculos dentro da área de proteção (Joinville).

Obstáculos	Distância da 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

Verifica-se que o obstáculo O_2 , apesar de ter maior altitude, não viola a Superfície OAS do procedimento RNP AR do aeroporto de Joinville. Assim, o obstáculo O_1 torna-se o obstáculo de controle do segmento.

3.6 DETERMINAÇÃO DOS MÍNIMOS OPERACIONAIS

Os mínimos operacionais de aproximação de um aeródromo dependem, como regra geral, do obstáculo de controle da aproximação final, ou da aproximação perdida. De acordo com o item 3.5, verifica-se que os obstáculos de controle foram os seguintes:

Tabela 5: Obstáculos de Controle conceito RNP AR.

Aeródromo	Obstáculo de Controle	Altitude
Santos Dumont	Pão de Açúcar	375 m
Joinville	Morro (O_1)	80 m

Os parâmetros referentes aos aeródromos, bem como os obstáculos de controle encontrados e as fórmulas mencionadas no capítulo 2 (item 2.1), possibilitam o cálculo dos seguintes mínimos operacionais:

Tabela 6: Mínimos Operacionais RNP AR.

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

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A comparação entre os atuais mínimos operacionais com aqueles calculados na seção 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 7, são referentes aos procedimentos de aproximação para circular, ou seja, relativos às aproximações indiretas para pouso nessas pistas.

Tabela 7: Mínimos Operacionais para Circular.

Aeródromo	MDA ¹⁶	Teto	Visibilidade
Santos Dumont	1300 ft	1300 ft	4800 m
Joinville	1040 ft	1100 ft	4800 m

Fonte: AIP-MAP, 2011.

Após conhecer os mínimos operacionais atuais, é possível efetuar o confronto desses valores com os calculados de acordo com o conceito RNP AR (ver Tabela 6). 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.

¹⁶ Para procedimentos para circular, a altitude mínima é definida em termos de MDA (BRASIL, 2011).

Tabela 8: 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

No entanto, o mesmo resultado não foi encontrado para o aeródromo Santos Dumont. Observa-se, na Tabela 8, 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, utilizando exclusivamente os critérios descritos no Manual RNP AR, não permitiu o estabelecimento de uma trajetória que evitasse o obstáculo mais significativo (Pão de Açúcar).

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 de 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 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. Dessa 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.

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, como atualmente podemos notar com os estudos complementares desenvolvidos pelo DECEA para a implementação de procedimentos RNP AR no aeroporto Santos Dumont, considerando parâmetros menos restritivos que os previstos no Manual RNP AR e, ao mesmo tempo, mais adequados à real capacidade que modernos sistemas de navegação podem oferecer.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **AIP-MAP**: Publicação de Informações Aeronáuticas. Brasília, DF, 2011.

_____. **CIRCEA 100-53**: Padronização da elaboração de procedimentos de Navegação Aérea. Brasília, DF, 2011.

_____. **ICA 100-24**: Elaboração de procedimentos de navegação aérea. Brasília, DF, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GJERLEV, J. **Instrument flight procedures**. Oslo: Pilotforlaget, 2002.

INFRAERO - 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.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível

em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 25 abr. 2011.

NAVERUS. **Access on top of the world: Linzhi**. Disponível em: <http://www.naverus.com/Community/Case_Studies/Linzhi.htm>. Acesso em: 24 abr. 2011.

OACI - Organização da Aviação Civil Internacional. **ANNEX 6**: Operation of Aircraft - Part I, International Commercial Air Transport — Aeroplanes. Montreal: OACI, 2010.

_____. **DOC 9368**: Instrument Flight Procedures Construction Manual. Montreal: OACI, 2002.

_____. **DOC 9905**: Required Navigation Performance Authorization Required (RNP AR) Procedure Design Manual. Montreal: OACI, 2009.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **IPEA divulga estudo sobre aeroportos no Brasil**. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=8032>. Acesso em: 30 abr. 2011.

SIQUEIRA, C. A. **Navegação aérea segundo o conceito CNS/ATM**: custos e benefícios. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado) - ITA, São José dos Campos, 2005.