

# Modelo Digital de Terreno e Dados de Obstáculo como Fator de Segurança à Navegação aérea

Cristiane de Barros Pereira  
Leonardo Marini Pereira

Instituto de Cartografia Aeronáutica  
Divisão de Cartografia  
Avenida General Justo, 160 – Castelo  
22.021-130 Rio de Janeiro RJ  
{dcar-ica, car4-ica}@decea.gov.br

**RESUMO** : O uso de informação altimétrica na aviação decorre do risco que o relevo e as edificações sobre o mesmo podem oferecer como obstáculos à navegação aérea. O conhecimento do terreno, juntamente com as edificações consideradas como obstáculos às aeronaves pode apoiar desde os elaboradores de procedimentos para voos por instrumento (IFR) até os pilotos que planejam e executam os voos por regras visuais (VFR). Diante disto, a Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO) preconizou requisitos e orientações para a geração de uma base de dados altimétricos denominada de Dados Eletrônicos de Terreno e Obstáculos (e-TOD). Os requisitos de qualidade e características dos dados são variáveis para quatro áreas distintas, que abrangem desde todo o território nacional até distâncias menores que 1 km na área de aproximação da pista. Neste contexto, o Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA) está conduzindo estudos e ações no sentido de produzir os dados necessários para o e-TOD, bem como torná-los disponíveis para os usuários do espaço aéreo brasileiro. Atualmente, o ICA está reunindo dados altimétricos provenientes do mapeamento sistemático brasileiro como parte do insumo para o conhecimento do relevo. Com relação aos obstáculos, o Instituto está iniciando o primeiro levantamento, realizado por meio de restituição fotogramétrica. A área do projeto está compreendida em uma distância de 10 km das margens da pista do aeroporto internacional de Confins – MG. O aerolevantamento foi executado com câmara analógica em escala 1:8.000 e as fases subsequentes do processo de produção fotogramétrica estão em andamento. Futuramente, o levantamento de obstáculos em áreas como a citada será realizado a partir de fotografias aéreas digitais, apoiadas com GPS e sistema inercial. O propósito do presente trabalho é expor a relevância dos dados e-TOD, uma vez que constituirá de um importante fator de auxílio para a segurança da navegação aérea.

**Palavras chaves** : navegação aérea, obstáculos, e-TOD

**ABSTRACT** : Altimetric information is useful in aviation once terrain itself and buildings could be obstacles to air navigation. Topographic information as well as the acknowledgement of building heights, considered as obstacles to aircrafts can support designers of procedures using Instrument Flight Rules or pilots who plan and execute navigation using Visual Flight Rules. From these applications, among other ones, the International Civil Aviation Organization (ICAO) has issued requirements and guidelines for the generation and organization of an altimetric dataset called Electronic Terrain and Obstacles Data (e-TOD). Quality requirements and data characteristics are variable to four different areas covering whether the whole State or distances less than 1 km on the runway approach. In this context, the Aeronautical Cartography Institute (ICA), military organization responsible for Brazilian aeronautical information and aeronautical cartography, is performing studies and activities in order to generate e-TOD datasets and broadcast them to Brazilian airspace users. For terrain dataset, ICA is presently gathering altimetric data from Brazilian systematic mapping. Regarding the obstacles, the Institute is starting the first survey made by photogrammetric techniques. The project area comprises a 10 km buffer from the runway borders of Tancredo Neves international airport in Confins (Minas Gerais, Brazil). The aerial photos were taken using an analogical metric camera in 1:8.000 scale and the following steps of the photogrammetric production process are still being carried out. In the future, obstacle survey for air navigation purposes in such areas will be done using digital aerial photos with GPS and IMU system, providing better image quality and a faster process to obtain three dimensional data from photogrammetry. Therefore, the objective of this paper is to expose how e-TOD data are relevant to aviation, once they contribute to air navigation safety.

**Keywords** : air navigation, obstacles, e-TOD

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da forma e das variações do relevo sempre constituiu um dado de grande valia para as mais diversas aplicações. A altimetria do terreno se faz bastante útil na hidrologia, possibilitando a detecção de linhas de drenagem e divisores de água (Quinn et al, 1991; Tarboton, 1997), bem como a identificação de áreas de risco de inundação (Mosquera-Machado e Ahmad, 2007). Tal dado pode também auxiliar na caracterização geológica de uma região (Fonseca et al., 2007), ser utilizado como fator ponderante na estimativa de potencial agrícola (Costa et al., 2005) e ainda servir de subsídio para o planejamento da ocupação urbana (Araújo et al., 2003).

Na aviação, o uso da informação altimétrica decorre do risco que o relevo e as edificações sobre o mesmo podem oferecer como obstáculos à navegação aérea. O conhecimento da altimetria do terreno pode apoiar os pilotos que planejam e executam os vôos visuais, bem como os elaboradores de procedimentos para o estabelecimento de níveis de vôo seguros em cartas aeronáuticas.

As cartas para navegação aérea visual (VFR) apresentam informações sobre as construções e o relevo necessárias ao apoio aos vôos visuais, dentre as quais as curvas de nível, as cotas e os obstáculos mais proeminentes. As Cartas de Obstáculos de Aeródromos e as Cartas de Aproximação Visual apresentam as informações do relevo, com um grau de detalhamento maior, por abrangerem áreas nas proximidades dos aeródromos.

Diante da preocupação com os obstáculos, a ICAO (*International Civil Aviation Organization*) estabeleceu em seu Anexo 15, capítulo 10 a geração de uma base de dados altimétricos denominada de Dados Eletrônicos de Terreno e Obstáculos (e-TOD). A ICAO é uma agência da ONU que foi criada em 1944, com objetivo de disciplinar a atividade aeronáutica internacional, no tocante às normas, métodos recomendados e procedimentos internacionais que tratem de: sistemas de comunicações e auxílios para a navegação aérea e sinalização terrestre; características dos aeroportos e áreas de aterrissagem; regras do ar e métodos de controle de tráfego aéreo; outorga de licenças do pessoal de operações e mecânicos; aeronavegabilidade das aeronaves; matrícula e identificação das aeronaves; compilação e intercâmbio de informação meteorológica; diários de bordo; mapas e cartas aeronáuticas; formalidades de alfândega e imigração; aeronaves em perigo; investigação de acidentes; e de outras questões relacionadas com a segurança, regularidade e eficiência da navegação aérea.

O Anexo 15 da ICAO normatiza e apresenta as definições relativas aos dados eletrônicos de terreno e obstáculos, bem como as especificações do Modelo Digital de Elevação para quatro áreas, a saber: Área 1 (todo o território), Área 2 (área da Terminal ou a área contida num círculo de 45 km de raio), Área 3 (área do aeródromo) e Área 4 (Para aeródromos Categoria II/III).

Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar as ações iniciais, por parte do Instituto de Cartografia Aeronáutica, no sentido de implementar o projeto de sistematização de dados eletrônicos sobre o terreno e obstáculos, em atendimento aos requisitos do Anexo 15 da ICAO.

## 2 DADOS ELETRÔNICOS DE TERRENO E OBSTÁCULO (e-TOD)

Atualmente na aviação brasileira, qualquer análise de obstáculo, natural ou artificial, é feita a partir de dados pontuais, em termos topológicos. Ou seja, o dado disponível é sempre o ponto mais alto de uma determinada área ou objeto. No caso de obstáculos artificiais, o ponto mais alto de uma torre ou edificação, por exemplo. Em obstáculos naturais, faz-se uso do ponto cotado mais alto presente em um determinado setor de interesse de uma carta topográfica.

Em termos topológicos, os dados e-TOD são mais específicos, detalhando os dados de obstáculos ponto (torres, antenas, árvores), linha (cabos, linhas de transmissão) ou polígono (prédios e construções) (Figura 1) e os dados de terreno em uma superfície contínua de dados, discretizada na estrutura de um Modelo Digital de Elevação (MDE).

**Fig.1 – Topologia dos obstáculos**

FONTE: Adaptado de ICAO (2004)

Devem ser associados aos dados de obstáculos, um conjunto de 23 atributos, dentre os quais cita-se: descrição do obstáculo, fornecedor do dado, a presença ou não de luzes e pinturas de obstáculos, o tempo de existência, dentre outros.

Diversas são as aplicações dos dados e-TOD. No que diz respeito ao Instituto de Cartografia Aeronáutica, a vantagem de se contar com uma base de dados de terreno e obstáculos se dá no sentido de auxiliar na elaboração de cartas aeronáuticas, bem como servir de insumo para cartas eletrônicas (Filho, 2003).

A ICAO especificou os dados e-TOD para quatro áreas distintas, cujos requisitos e abrangências são fundamentados nas cartas que utilizarão dados de terreno e obstáculos, bem como nas diferentes fases do voo.

Os requisitos numéricos para as quatro áreas seguem na Tabela 1:

**TABELA 1 – Requisitos numéricos de qualidade para os dados e-tod**

<b>Requisitos de qualidade</b>	<b>Área 1</b>	<b>Área 2</b>	<b>Área 3</b>	<b>Área 4</b>
<b>Acurácia Horizontal</b>	50 m	5 m	0,5 m	2,5 m
<b>Acurácia Vertical</b>	30 m	3 m	0,5 m	1 m
<b>Espaçamento do MDT</b>	90 m	30 m	20 m	9 m

A denominada “Área 1” abrange todo o território nacional. O conhecimento do terreno e dos obstáculos para esta área tem sua utilidade para aeronaves em rota, ou seja, em nível de cruzeiro. Nesta área, qualquer edificação que ultrapassar uma altura de 100 m acima do solo, deve ser levantada e cadastrada como obstáculo.

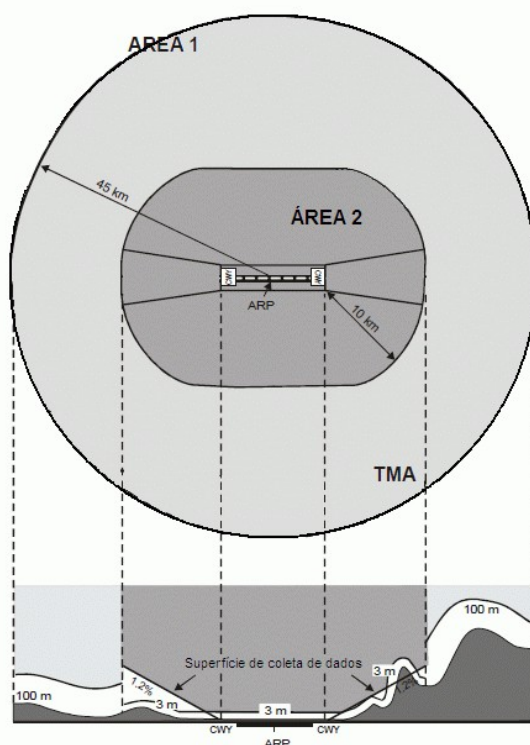
A “Área 2” consiste na denominada “Área Terminal” (TMA) e pode ser simplificada por um raio de 45 km a partir do ponto de referência do aeródromo (ARP). Dados de terreno e os obstáculos nesta área são necessários apenas para aeródromos utilizados pela aviação civil internacional. Os dados em questão poderão compor subsídios para a geração de cartas de procedimentos de subida e descida por instrumento (Cartas IAC – *Instrument Approach Chart*, SID – *Standard Instrument Departure*), bem como cartas de obstáculos (Cartas Tipo A e Tipo B).

Os requisitos numéricos da “Área 2”, apresentados na Tabela 1, restringem-se apenas a uma área definida por um raio de 10 km do ARP. Para as regiões remanescentes, aplicam-se os requisitos estabelecidos para a “Área 1”.

A “Área 2” considera como obstáculo qualquer edificação que ultrapassar uma superfície cônica com início nas bordas da pista e que se estende por 10 km com uma declividade de 1,2%. As regiões remanescentes, localizadas além dos 10 km, seguem os critérios estabelecidos para a “Área 1”.

A Figura 2 ilustra as áreas e os gabaritos para a coleta de dados das Áreas 1 e 2.

A “Área 3” é chamada de área do aeródromo ou do heliporto e consiste em uma extensão de 90 m a partir do eixo da pista principal e 50 m a partir das pistas de táxi e outras áreas de movimentação.



**Fig 2.** – Superfície de coleta de dados: Áreas 1 e 2  
FONTE: Adaptado de ICAO (2004)

É definido como obstáculo nesta área tudo o que estiver acima de 0,5 m do plano horizontal que passa pelas margens das áreas de movimentação.

A coleta e divulgação de dados para a Área 3 são facultativas, sendo realizada apenas quando se julgar conveniente.

A “Área 4” é definida por uma área retangular que se inicia na cabeceira da pista e se estende por 900 m de comprimento com 120 m de largura. Dados de terreno e obstáculos coletados nesta área são insumos para a geração da carta PATC (*Precision Approach Terrain Chart*) utilizada para aproximação com radar altímetro e deverão ser levantados apenas para os aeródromos que possuem o instrumento de pouso ILS (*Instrument Landing System*) de categoria II ou III.

### 3 SIMULAÇÕES

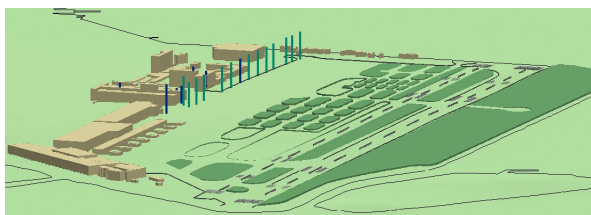
Com o intuito de consolidar o estabelecido pela ICAO, o Instituto de Cartografia Aeronáutica elaborou um protótipo do que seria um ambiente virtual com os dados de terreno e obstáculos para a Área 2 do Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro.

Um Modelo Digital de Elevação da área foi gerado a partir de curvas de nível em escala 1:10.000. Sobre o mesmo, foram inseridos pontos que constam no banco de obstáculos do ICA.

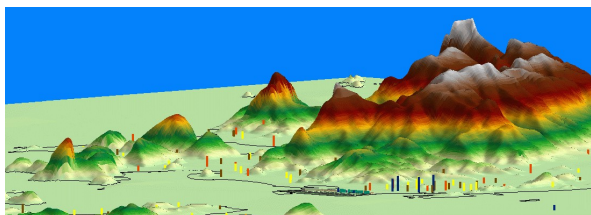
Atualmente, o Instituto levanta os obstáculos como apenas um ponto. No entanto, as feições consideradas como obstáculos no banco de dados e-TOD, poderão ser pontos (árvores, antenas, mastros etc), linhas (muros, cabos, linhas de transmissão etc) ou polígonos (edificações).

Diante disso, acrescentou-se ao ambiente virtual, as edificações existentes na área do Aeroporto Santos Dumont, bem como os prédios que compõe o complexo de organizações militares, situado próximo à pista.

O resultado é apresentado nas Figuras 3 e 4.



**Fig. 3** – Edificações na área do Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro



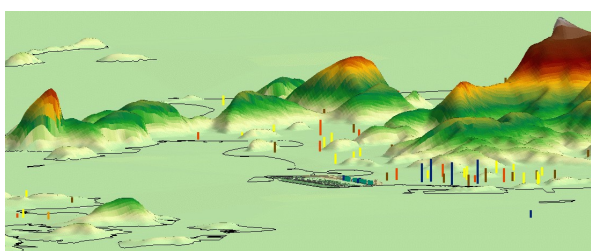
**Fig. 4** – Ambiente 3D com o relevo, e os pontos de obstáculos do Aeroporto Santos Dumont

Ressalta-se que como se trata de um protótipo, foram lançados no modelo, apenas os dados disponíveis no ICA, não sendo executado nenhum levantamento específico de acordo com os requisitos para o banco de dados e-TOD.

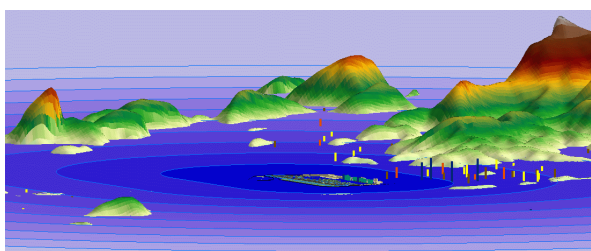
Ao modelo tridimensional gerado, acrescentou-se a superfície cônica com 1,2% de declividade a fim de analisar visualmente os obstáculos existentes acima do gabarito em questão.

Uma comparação entre o modelo com e sem o gabarito para uma porção da área teste é apresentada nas Figuras 5 e 6. O resultado obtido permite uma primeira análise visual de modo a identificar os obstáculos e as porções de terreno que ultrapassam o gabarito estabelecido.

O caso apresentado possibilita ainda uma posterior análise espacial, a fim de identificar, dentre os obstáculos disponíveis, quais são os que ultrapassam a superfície limite e devem constar no banco de dados. Mesmo com o conhecimento apenas do terreno, sem as edificações, operações de análise espacial possibilitariam ainda identificar áreas críticas, ou seja, onde o terreno mais se aproxima do gabarito.



**Fig. 5** – Parte do modelo tridimensional



**Fig. 6** – Modelo apresentado na Fig. 5 com acréscimo do gabarito de obstáculos



Os resultados apresentados foram obtidos apenas em caráter de teste, uma vez que não se dispunha de dados de obstáculos suficientes, de modo a representar de maneira significativa a situação ao redor do aeroporto.

#### **4 SITUAÇÃO ATUAL: PROJETO CONFINS**

O protótipo apresentado para o aeroporto Santos Dumont foi útil a fim de ilustrar a expectativa dos dados e-TOD. Entretanto, a maior preocupação do ICA, no momento, recai sobre o levantamento dos dados.

Estudos foram realizados no sentido de se determinar qual seria o melhor método de levantamento para este fim (Gomes et al., 2008). Concluiu-se que a fotogrametria seria a técnica mais conveniente para a obtenção de dados altimétricos de terreno e obstáculos artificiais.

A partir desta constatação, o ICA se dispôs a executar um trabalho em parceria com o 1º/6º Grupo de Aviação, esquadrão aéreo da Força Aérea Brasileira que executa atividades de reconhecimento e possui uma câmara métrica RMK-A.

O referido esquadrão executou o aerolevanteamento convencional em escala 1:8.000 para uma área composta por um raio de 10 km da pista do aeroporto internacional de Confins-MG. O bloco todo contou com 19 faixas e um total de 636 fotografias.

Por se tratar do método convencional, houve a necessidade de se levantar pontos de controle, a fim de se obter pontos para a aerotriangulação e possibilitar o cálculo dos parâmetros de orientação exterior. Um total de 212 pontos foi coletado ao longo de toda a área, sendo 176 de controle e 26 de checagem.

O projeto ainda encontra-se em andamento e está atualmente na etapa de aerotriangulação. Concluída esta fase, pretende-se gerar automaticamente um modelo de superfície de modo a identificar as áreas críticas que deverão ser restituídas e inseridas no banco de dados e-TOD.

#### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS**

Os dados e-TOD compõem uma importante fonte de informação altimétrica como auxílio para diversas aplicações, dentre as quais se destacam a elaboração de procedimentos e a confecção de cartas aeronáuticas.

A relevância de tais dados inseridos em um sistema de banco de dados geográficos e de informações aeronáuticas se dá também no sentido de acompanhar a modernização do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro.

A respeito do levantamento de dados para projetos futuros, o ICA pretende trabalhar a partir de fotografias aéreas digitais obtidas por meio de voo apoiado com GPS e sistema inercial, de modo a proporcionar maior qualidade das imagens e maior rapidez nas etapas necessárias para a obtenção de dados tridimensionais a partir de fotogrametria.

#### **6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Araújo, W.T.; R.L. Santos e C.S. Lage, 2003. A Modelagem Digital de Elevação como Instrumento de Análise da Ocupação do Sítio Urbano, In Anais do XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte-MG, Brasil (CD-ROM).

Costa, T.C.C.; D.P. Ramos; N.R. Pereira; M.C.D. Bueno; J.M. Baca; E.C.C. Fidalgo; M.S.P. Meirelles; R.P. Oliveira e L.J.O. Accioly, 2005. Suporte a decisão para qualidade de terras para a agricultura familiar, In Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-GO, Brasil, pp 73-82.

Filho, V.M.A., 2003. Carta Eletrônica Aeronáutica - Uma meta a ser atingida, In Anais do XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte-MG, Brasil (CD-ROM).

Fonseca, B.M.; G.A. Carvalho e A.C.M. Moura, 2007. O Uso dos Modelos Digitais de Elevação no

Mapeamento, Análise e Ensino da Geomorfologia, In Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, pp.2095-2099.

Gomes, C.J.M.; C.B. Pereira; R.V. Lasperg; M.K. Lima; L.M. Pereira e M.L.R.A. Cajaraville, 2008. Modelo Digital de Terreno como apoio à navegação aérea, In Anais do VIII Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis-SC, Brasil.

ICAO, 2004. Doc 9881: Guidelines for Electronic Terrain, Obstacle and Aerodrome Mapping Information. International Civil Aviation Organization, Montreal, Quebec, Canada, 345 páginas.

Mosquera-Machado, S. e S. Ahmad, 2007. Flood hazard assessment of Atrato River in Colômbia. Water Resources Management. Vol. 21, Nº 3, pp.591-609.

Quinn, P.; K. Beven; P. Chevallier e O. Planchon, 1991. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models. Hydrological Processes. Vol. 5, Nº 1, pp.59-79.

Tarboton, D. G., 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. Water Resources Research, Vol. 33, Nº 2, pp.309-319.