

Revista Brasileira de Cartografia (2010) N° 63/4, p. 449-459  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO NO MAPEAMENTO E GERENCIAMENTO DE ZONAS DE PROTEÇÃO DE AERÓDROMOS**

*Use of High Resolution Images on the Aerodrome Protection Zones Mapping and  
Managing*

**Jefferson Luís Ferreira Martins<sup>1</sup>; Dejanira Luderitz Saldanha<sup>1</sup> &  
Ronaldo dos Santos da Rocha<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEP SRM  
Av. Bento Gonçalves, 9500 - Campus do Vale  
Caixa Postal 15044 – CEP 91501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil  
jefmartins@gmail.com; dejanira.saldanha@ufrgs.br**

**<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS  
Instituto de Geociências - Departamento de Geodésia  
Av. Bento Gonçalves, 9.500 – Campus do Vale – Prédio 43.113 CEP 91.540-000  
Cx Postal – 15.001 – Porto Alegre - RS  
ronaldo.rocha@ufrgs.br**

*Recebido em 13 Setembro, 2010/ Aceito em 09 Novembro, 2010  
Received on September 13, 2010/ Accepted on November 09, 2010*

### **RESUMO**

O crescimento desordenado das grandes cidades gera problemas na infra-estrutura urbana atingindo as proximidades dos aeroportos na forma de obstáculos que afetam a segurança das aeronaves, dos passageiros e da população que vive nesses locais. Além da segurança aeroportuária, a intensa circulação humana junto à Zona de Proteção dos Aeroportos, afeta o desenvolvimento sócio-econômico adequado da região. A padronização das operações aéreas no mundo, tornando-as mais seguras, levou a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) a publicar documentos normativos que regulamentam as atividades aeronáuticas. As medidas e os levantamentos de obstáculos devem ser de alta precisão e geralmente são realizados com métodos topográficos clássicos demandando altos custos. A alternativa é o uso de imagens de sensoriamento remoto de alta resolução (pixel igual ou inferior a 1m) que permite realizar essas medições com a precisão necessária, em um tempo menor, e maior eficiência também para o monitoramento contínuo das áreas de implantações irregulares no entorno dos aeroportos. Neste trabalho duas imagens IKONOS II de 2001 e 2008 foram utilizadas para o levantamento da ocupação do entorno do Aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A metodologia proposta avaliou a eficiência destas imagens para o entendimento dos planos de zona de proteção de aeródromo, a sua relação com as áreas urbanas do entorno, a localização e a identificação de obstáculos. Este estudo revelou que as imagens de alta resolução são eficientes para a análise dos obstáculos com um erro estimado de 2,66 m nas coordenadas da imagem ortorretificada. Este parâmetro é considerado tolerável para a maior parte das superfícies limitadoras de obstáculos.

**Palavras chaves:** Proteção de Aeroportos, Controle de Obstáculos, Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

The disordered growth of large cities makes problems on urban infrastructure reaching the airports neighborhoods, as obstacles that affect the safety of aircrafts, passengers and people living in these places. In addition to airport safety, the intense human movement along the Airports Obstacle Limitation Surfaces, affects the necessary socio-economic development of the region. The standardization of aeronautical operations in the World making them more safety, led to the International Civil Aviation Organization (ICAO) to publish normative documents regulating aviation activities. The measures and surveys of obstacles must have high accuracy and are usually performed with classical topographic methods requiring high costs. The use of high resolution images (pixel equal or less than 1 m) is presented as an alternative to solve the problem of managing obstacles, that provides the necessary accuracy, in a lowest time, and providing more efficiency also to the continuous monitoring of areas of irregular deployments around airports. In this paper two IKONOS II images, dated 2001 and 2008 were used to survey the occupation of the area surrounding the Salgado Filho Airport in Porto Alegre, Rio Grande do Sul. The proposed methodology evaluated the efficiency of these images to the understanding of the Aerodrome Protection Zones, its relationship with the surrounding urban areas, the location and the identification of obstacles. This study showed that high-resolution images are effective for analyzing the obstacles with an estimated error of 2,66 m in the coordinates of the orthorectified image. This parameter is considered tolerable for the most of obstacles limit surfaces.

**Keywords:** Airport Protection, Obstacles Control, Remote Sensing.

### 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países signatários da Convenção de Chicago, que instituiu a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI). Visando padronizar as operações aéreas no mundo, de forma a torná-las mais seguras, a referida organização publicou diversos documentos normativos, dos quais o ANEXO 14 regula as atividades aeroportuárias. Além deste ANEXO, em 1987 o Brasil publicou a Portaria 1.141/GM5, que trata especificamente do assunto Zona de Proteção de Aeródromo e foi substituída recentemente pela Portaria 256/GC5.

Os aeroportos brasileiros instalados há décadas em áreas isoladas não apresentavam problema de interferência por obstáculos. Porém, nos últimos anos o crescimento rápido e desordenado das grandes cidades gerou diversos problemas em sua infra-estrutura. Esse crescimento desordenado promove o surgimento de diversos obstáculos que afetam a segurança das aeronaves, dos passageiros e da população que vive nos arredores dos aeroportos. A legislação nacional e internacional estabelece os critérios para ocupação no entorno de aeroportos e os tornam cada vez mais limitados e restritos com a possibilidade de redução do tamanho utilizável da pista. Isto dificulta a operação de aeronaves de grande porte para o transporte de carga e afeta significativamente o desenvolvimento sócio-econômico das regiões atendidas pelos aeroportos.

Uma grande dificuldade na aplicação das normas de zona de proteção de aeródromos está na distribuição das responsabilidades que se estabelecem entre o COMAR, Comando da Aeronáutica, as autoridades municipais e estaduais e os administradores de aeroportos. O COMAR tem o poder de emissão de parecer e embargo de qualquer obstáculo implantado de forma irregular, acima dos limites impostos pelos Planos de Zona de Proteção de aeródromo. As autoridades municipais e estaduais, através dos planos diretores e das Leis de Uso do Solo, têm a responsabilidade de controlar as implantações, e os administradores de aeroportos, por sua vez, devem controlar as implantações internas aos sítios aeroportuários e monitorar o crescimento urbano no seu entorno. Assim, o rápido desenvolvimento das áreas urbanas não permite o estudo e a avaliação dos ângulos verticais e horizontais que delimitam os Planos de Zona de Proteção de Aeródromos.

Assim, em função de toda a dificuldade na aplicação das normas e restrições de uso e da fiscalização das implantações no entorno de aeroportos, entende-se que, devido à facilidade de localização e realização de medições precisas, as imagens de alta resolução espacial tornam-se uma ferramenta com grande potencial para o gerenciamento mais qualificado de zonas de proteção de aeródromo.

O desenvolvimento tecnológico, na área do Sensoriamento Remoto, permitiu a construção de sensores capazes de produzir imagens com pixel

de dimensões inferiores a 1 metro. Essas imagens quando devidamente processadas, analisadas e interpretadas geram dados temáticos que correspondem às superfícies limitadoras dos obstáculos e aos padrões de uso e ocupação do solo tornando-se ferramentas de apoio, modernas e eficientes, ao controle de implantações no entorno dos aeroportos.

## 2. ZONAS DE PROTEÇÃO DE AERÓDROMOS

Pode-se definir Zona de Proteção de Aeródromo como o conjunto de critérios e superfícies limitadoras que determinam a localização e altura permitidas para implantações nas proximidades da pista de um aeroporto. A Zona de Proteção de um Aeródromo pode ser descrita através de Planos Básicos ou Planos Específicos, conforme as características do local e decisão da Autoridade Aeronáutica.

### 2.1. Convenção de Chicago

Em 07 de dezembro de 1944 foi criada em Chicago, a Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), que passou a integrar a Organização das Nações Unidas (ONU). A referida convenção contou com a assinatura de 190 países que, como membros da OACI, seguem suas normas e regulamentações que possuem como premissa básica, o desenvolvimento da aviação civil de maneira segura e sistemática.

### 2.2. Critérios para construção e operação de aeroportos

A existência de restrições e de remoção de obstáculos visa definir as especificações do espaço aéreo ao redor dos aeródromos. Esta restrição permite que as operações das aeronaves nos aeródromos sejam realizadas de forma segura e evita que os mesmos se tornem inoperantes pelo crescimento de obstáculos em seu entorno. Esta restrição é estabelecida por uma série de superfícies limitadoras de obstáculos (Fig.1) que definem os limites para os quais os objetos podem se projetar no espaço aéreo.

Na situação atual, há diversos aeroportos situados em cidades de médio a grande porte, que possuem problemas de interferência de obstáculos acima dos gabaritos estabelecidos pelas superfícies limitadoras.



Fig. 1 – Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromo

### 2.3. Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromo

Conforme legislação, BRASIL (2011), as superfícies limitadoras de obstáculos nos aeroportos serão definidas por Planos Básicos de Zona de Proteção de Aeródromo. Os parâmetros desses planos são determinados em função das seguintes variáveis:

- **Código de referência da pista:** determinado em função da aeronave crítica para a qual a pista foi planejada.

- **Tipo de Operação:** Uma pista pode ser classificada quanto ao seu tipo de operação da seguinte forma:

VFR: não possui equipamentos de auxílio à navegação aérea;

IFR-NÃOPRECISÃO: com equipamentos de auxílio à navegação aérea.

IFR-PRECISÃO: com auxílio de equipamentos que possibilitam a indicação eletrônica de trajetória de planeio.

- **Faixa de Pista:** a faixa de pista é definida por um retângulo ao redor da pista, de dimensões variáveis, conforme o código de pista e o tipo de operação. Neste retângulo não é permitida qualquer implantação acima da altitude da pista, com exceção dos equipamentos de auxílio à navegação aérea. Este retângulo varia de 60 a 300 m de largura e estende-se até 60 m além da cabeceira ou zona de parada, quando houver.

Apesar de a faixa de pista ser uma área sensível a ser preservada em função de sua proximidade com a pista, em alguns aeroportos esta área apresenta ocupação urbana. Isso ocorre, por

exemplo, no Aeroporto Internacional Salgado Filho (BRASIL, 2005).

- **Rampa:** define o ângulo vertical de uma superfície limitadora da altitude de obstáculos. A rampa é expressa em forma de fração. Assim, uma rampa 1/50 indica que a cada 50 m na horizontal, a superfície limitadora eleva-se 1 metro.

- **superfícies de aproximação e decolagem:** essas áreas são de extrema importância. São áreas que se sobrepõem sendo a área de aproximação mais restritiva que a de decolagem.

As áreas de aproximação estendem-se em rampa, no sentido longitudinal ao eixo da pista, a partir do limite externo da faixa de pista, podendo atingir a distância de até 15 Km de distância do aeródromo. As rampas das áreas de aproximação são mais restritivas que as outras áreas dos planos de zona de proteção de aeródromo, sendo, na maioria dos casos, a utilizada a rampa (1/50).

- **superfície de transição** – essa estende-se lateralmente entre o limite da faixa de pista e o limite da área de aproximação, até atingir o desnível de 45 m, onde inicia-se a área horizontal interna. O aumento da rampa ocorre no sentido do deslocamento transversal em relação ao eixo da pista. As rampas das áreas de transição são estabelecidas em 1/5 ou 1/7.

- **superfície horizontal interna** - estende-se para além dos limites das Áreas de Aproximação e de Transição, com desnível de 45m em relação à altitude do Aeródromo. Os limites externos são semicírculos, com centros nas cabeceiras das pistas, atingindo a distância variável de 2000 m a 4000 m de distância do aeródromo.

- **superfície cônica** - localiza-se entre a área horizontal interna e a área horizontal externa, e estende-se em rampa (1/20) do limite da área horizontal interna (45 m) até o limite uma altura definida, podendo chegar a 145 m acima do nível da pista.

## 2.4. Plano Específico de Zona de Proteção de Aeródromo

Os Planos Específicos de Zona de Proteção de Aeródromo são baseados em estudos que levam em consideração os procedimentos locais, os auxílios à navegação aérea dos quais o aeródromo dispõe, os acidentes geográficos e os obstáculos existentes. Este é o caso do Plano Específico de

Zona de Proteção do Aeroporto de Porto Alegre e Base Aérea de Canoas, Rio Grande do Sul.

## 2.5. Plano Específico de Zona de Proteção dos Aeródromos de Porto Alegre e Canoas

O Plano Específico de Zona de Proteção dos Aeródromos de Porto Alegre e de Canoas abrange dois aeródromos e 37 municípios. Além das faixas de pista, áreas de aproximação e de transição, este documento especifica 35 áreas intermediárias (em rampa) e 31 áreas horizontais. Além disso, esse plano foi publicado considerando-se a futura ampliação da pista do Aeroporto Internacional Salgado Filho, de 2.280 m para 2.800 m. O projeto prevê também a ampliação para 3.200 m. e lista uma série de obstáculos que devem ser eliminados.

## 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Aeroporto Internacional Salgado Filho, Município de Porto Alegre, é um dos principais aeroportos do País, com volume de movimento anual próximo de 80.000 pousos/decolagens. Esta capital é privilegiada em função da localização de seu aeroporto que se situa próximo às principais vias de acesso e que a integram ao interior do Estado, aos demais estados do Brasil e aos países vizinhos (Argentina e Uruguai). Está inserido dentro da área urbana, próximo à Região Central.

Refletindo o crescimento urbano rápido e desordenado no município de Porto Alegre, há diversos obstáculos nas proximidades do Aeroporto, acima dos gabaritos das áreas estabelecidas pelo Plano Específico. O planejamento da ampliação da pista para 3.200 m prevê a remoção de famílias e a indenização de proprietários de terrenos regularizados situados nas áreas necessárias às obras de ampliação. Esta área de estudo foi selecionada com base na complexidade do Plano Específico de Zona de Proteção desse Aeródromo e devido ao grande número de obstáculos em seu entorno, também devido ao plano de ampliação da sua pista.

## 4. MATERIAIS E METODOS

### 4.1. Materiais Utilizados e Metodologia

Foram utilizadas duas imagens de satélite de alta resolução IKONOS-2, uma do ano de 2001 e outra do ano de 2008, dois (02) aparelhos GPS L1 e respectivos acessórios e softwares de

processamento de dados GPS. Foram realizados: processamento dos dados GPS dos Pontos de Controle, processamento digital das imagens, através do aplicativo de processamento digital de imagem. O desenho dos limites patrimoniais, ampliação de pista e áreas de expansão foi realizado através de aplicativo CAD. Os dados foram integrados por meio do uso de aplicativo de elaboração de SIG. O trabalho seguiu o fluxograma da figura 2.

### Definição da área da imagem:

A definição da área, levou em consideração a distância que os aviões iniciam sua preparação para o pouso, reduzindo suas velocidades, diminuindo a sustentação e aproximando-se da superfície até atingirem o último trecho de suas trajetórias de descida, chamado MAPT (Missed Approach Point). Sendo assim, estabeleceram-se as dimensões de duas Milhas Náuticas em afastamento transversal ao eixo da pista e duas Milhas Náuticas em afastamento longitudinal, a partir de cada cabeceira. Dessa forma, foi estabelecido o parâmetro da área crítica do Plano de Zona de Proteção de Aeródromo. No caso da área em estudo, foi considerada a futura cabeceira da pista, após a sua ampliação de 920 m, prevista para iniciar-se em 2011.

É importante registrar que, apesar de haver uma área crítica, todas as limitações impostas pelos planos de zona de proteção de aeródromos devem ser respeitadas. A área selecionada compreende a faixa de pista, áreas de aproximação, transição e áreas horizontais do Plano Específico de Zona de Proteção do Aeroporto Internacional Salgado Filho.

### Especificação Técnica e Aquisição da Imagem:

Área abrangida pela imagem: 78,4 Km<sup>2</sup>, delimitada pelo polígono formado pelos quatro vértices abaixo especificados, em coordenadas geográficas, no Sistema Geodésico de Referência WGS84:

- 1) 29° 57' 27,11193"S /51° 13' 09,72172"W
- 2) 29° 57' 34,41066"S 51° 07' 04,17690"W
- 3) 30° 01' 46,94894"S 51° 13' 16,67477"W
- 4) 30° 01' 54,25388"S 51° 07' 10,86557"W

**Resolução Espacial:** tamanho máximo de pixel imagem do sensor IKONOS com pixel de 1m<sup>2</sup>.

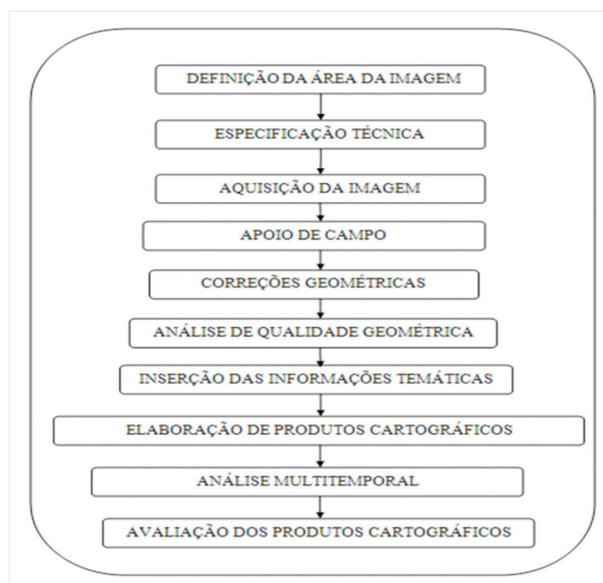


Fig. 2 – Seqüência de Procedimentos.

**Resolução radiométrica mínima:** Imagem de alta resolução de 11 a 16 bits.

**Resolução Espectral:** Imagem multiespectral e banda pancromática para geração e análise de diferentes composições coloridas: determinar feições no terreno.

**Cobertura de nuvens:** Até 5% de cobertura de nuvens, aceitável.

**Arquivo RPC:** Arquivo *Rational Polynomial Coefficient* (Coeficientes dos Polinômios Racionais) fornecido pelos operadores de satélites de alta resolução. Estes dados, unidos a modelos digitais de elevação e pontos de controle adquiridos em campo, com suas respectivas altitudes, possibilitam o processo de ortoretificação.

**Sistema Geodésico de Referência:** para a integração de informações de diferentes fontes. Todos os dados devem ser referenciados ao mesmo Sistema de Referência. Foi utilizado o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000.

**Período do Imageamento:** a aceleração do crescimento urbano desordenado das grandes cidades limita, em alguns meses o tempo de aquisição da imagem Neste estudo, a imagem foi adquirida em período igual ou inferior a 04 (quatro) meses da data do contrato de compra.

**Arquivo de imagem no formato GEOTIFF:** Imagem IKONOS II, datada de 05 de junho de 2008, composta por 04 (quatro) bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), fusionadas com a banda pancromática, com pixel de 01 metro. A imagem georreferenciada é utilizada por softwares de processamento digital de imagens e SIG.

**Apoio de Campo:** Nos levantamentos e medições realizados ocorrem erros aleatórios, sistemáticos ou grosseiros. Como neste trabalho utilizou-se um modelo 2D, para a análise do erro horizontal máximo aceitável considerou-se a menor rampa estabelecida em BRASIL (1987), 1/5. Levando-se em consideração essa rampa, menos restritiva, estabeleceu-se um erro vertical limite de 0,6 m e a partir dele, chegou-se ao valor de 3 m de erro horizontal ( $0,6 = X/50 \Rightarrow X = 3m$ ). Esse erro representa a proporção de três vezes o tamanho do pixel da imagem adquirida.

Visando a melhor acurácia nas coordenadas e nas medidas em uma imagem de alta resolução as correções geométricas são necessárias. Para trabalhos com imagens de alta resolução, os processos de georreferenciamento e ortorretificação terão melhor qualidade se for melhor a qualidade das coordenadas dos pontos de apoio no terreno. Sendo assim, esses pontos de apoio em campo devem ser escolhidos pela sua facilidade de identificação no terreno e as suas coordenadas devem ser coletadas com receptores GPS. A coleta com receptores GPS e o processamento dos dados coletados definem a qualidade das coordenadas dos pontos de apoio de campo.

Adotou-se a técnica de coleta de coordenadas através do posicionamento relativo, utilizando-se como base a estação POAL da RBMC e um marco geodésico implantado pelo Instituto de Cartografia Aeronáutica – ICA no Sítio Aeroportuário do Aeroporto Internacional Salgado Filho. Para cada ponto coletado, foi instalado um GPS L1 como base sobre o marco geodésico estabelecido pelo ICA e outro sobre o ponto de interesse, com tempo de rastreamento de 30 minutos.

Aplicando-se a equação adaptada de Pereira (1978) por Rocha (2002), foram inseridos os valores de tamanho de pixel e tamanho da área da imagem e estabeleceu-se o parâmetro de  $\gamma = 1/3$  do valor do pixel, ou seja, uma proporção entre

desvio padrão e média amostral de 1/3 do tamanho do pixel e um erro amostral relativo de 12%. Considerando-se uma expectativa de um intervalo de confiança de 90%, chegou-se ao valor de 20,46 pontos sendo determinada a quantidade de 21 pontos de apoio em campo para o georreferenciamento da imagem, conforme destacado no Quadro 1. Esses valores de erro amostral, proporção entre valor de desvio padrão e média amostral e intervalo de confiança foram estabelecidos em função da coleta de pontos de controle a ser aplicada e em função da disponibilidade de tempo e do custo na coleta de pontos de controle.

Quadro 1 – Número de pontos de apoio (ROCHA, 2002)

CALCULO DO NUMERO DE PIXELS PARA CADA CENA:					
SENSOR	IMAGEM				
	TAM.PIXEL (m)	LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	AREA (m)	N
LANDSAT	30	7800	10000	78000000	86666,66667
SPOT	20	7800	10000	78000000	195000
IKONOS	1	7800	10000	78000000	78000000
QUICKBIRD	0,61	7800	10000	78000000	209621069,6
CBERS HRC	2,5	7800	10000	78000000	12480000
$\gamma$	0,33				
Z = 90%	1,6449		$\epsilon = 10\%$	$\epsilon = 12\%$	$\epsilon = 15\%$
SENSOR	N		0,1	0,12	0,15
LANDSAT	86666,66667	n	29,45535515	20,45723221	13,09374127
SPOT	195000	n	29,46072903	20,4597841	13,09475644
IKONOS	78000000	n	29,4650188	20,46182097	13,09556866
QUICKBIRD	209621069,6	n	29,46502555	20,46182418	13,09556793
CBERS HRC	12480000	n	29,46496234	20,46179417	13,095556

Onde:

$$n := \frac{(Z^2 \cdot \gamma^2 \cdot N)}{\left[ (N-1) \cdot (\hat{\sigma})^2 + (Z^2 \cdot \gamma^2) \right]}$$

$$\epsilon_r := \frac{\sigma}{\mu}$$

$$\gamma := \frac{\sigma}{\mu}$$

Sendo:

n = tamanho da amostra (número de pontos de controle necessários)

N = tamanho da população (número de pixels na imagem)

$\hat{\sigma}$  = erro amostral relativo

$\sigma$  = desvio padrão amostral em metros

$\mu$  = media amostral

Z = intervalo de confiança da tabela de Distribuição Normal

$\tilde{\alpha}$  = Relação entre o desvio padrão e a media amostral

Visando uma distribuição homogênea de pontos de apoio sobre a imagem a mesma foi dividida em quatro quadrantes e cada um deles foi subdividido em mais seis quadrantes. A partir desses quadrantes, os referidos pontos foram selecionados. Conforme pode ser verificado na figura 3 não foi possível atingir todos os quadrantes, embora a estimativa de erro tenha atingido um valor aceitável..

Foi utilizado como base para o posicionamento relativo, além da estação POAL da RBMC, o marco geodésico implantado pelo ICA no “Ponto de Cheque do VOR” e o marco geodésico “INS 1 – AP 110”.

**Correções Geométricas:** Em função da dificuldade de obtenção de modelos digitais de elevação com equidistância vertical de um metro e tendo em vista que as áreas das proximidades do aeroporto são planas, não sofrendo grandes distorções radiais devido ao relevo, optou-se pela utilização do modelo digital de elevação do SRTM no processo de ortorretificação da imagem.

O georreferenciamento e a ortorretificação foram realizados utilizando-se o Modelo Digital de Elevação do SRTM e o arquivo RPC fornecido juntamente com a imagem de satélite e mais os 21 pontos de controle, com suas respectivas altitudes.



Fig. 3 – Distribuição dos pontos de apoio de campo na imagem.

Quadro 2 – Estimativa de erros nas coordenadas da imagem.

ESTAÇÃO	GPS		IMAGEM		DIFERENÇA (m)	MÉDIA (m)	DESVIO PADRÃO (m)	VARIÂNCIA (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)				
A0001	483969,3843	6681664,2733	483969,16	6681665,86	1,602475392	1,743437214	0,715059283	0,511309778
0001	483098,8187	6681522,8270	483098,24	6681524,88	2,133003209			
0002	482448,0089	6682302,7256	482448,31	6682304,78	2,076347893			
0003	482186,1044	6682039,5690	482185,34	6682040,81	1,457528167			
0004	483197,2668	6682311,1491	483194,23	6682311,78	3,10164296			
0005	479061,4132	6681824,6646	479061,65	6681822,84	1,839902008			
0006	480372,6199	6681601,4972	480373,52	6681601,87	0,974248351			
0007	481491,4884	6683066,1492	481491,41	6683066,69	0,546453292			
0008	482267,1977	6685002,4683	482267,33	6685004,45	1,986111322			
0009	481420,678	6683940,5853	481421,41	6683942,58	2,124771067			
0010	480157,3174	6682331,9628	480156,54	6682330,78	1,415403334			
0011	484684,7075	6682582,4791	484684,08	6682583,73	1,399466706			
0012	486243,1196	6682059,7213	486242,93	6682061,81	2,097287736			
0013	486376,6658	6681482,7551	486376,91	6681484,88	2,138886077			
0014	483829,3165	6683910,5372	483829,17	6683913,59	3,056313153			
0015	478885,8783	6678884,0269	478884,67	6678886,2	2,486433691			
0016	486175,2964	6680265,7611	486173,93	6680264,03	2,20539252			
0017	483471,1259	6679771,5348	483470,21	6679771,09	1,018194407			
0018	481841,4699	6680235,4122	481841,37	6680235,03	0,395040314			
0019	482757,8337	6681310,8106	482757,28	6681311,9	1,222037663			
0020	483416,2634	6681596,0495	483415,21	6681596,87	1,335242229			

## 4.2. Análise da Qualidade Geométrica

No processo de análise geométrica, foi adotada a comparação simples entre as coordenadas dos pontos GPS ajustadas com as coordenadas dos mesmos pontos lidas na imagem ortorretificada, após o processo de reamostragem. O Quadro 2 apresenta a comparação entre as coordenadas, seguida da média e desvio padrão das diferenças observadas. Com base neste quadro, pode-se considerar que as medições de coordenadas sobre a imagem ortorretificada apresentam erro médio de 1,74 m, com desvio padrão de 0,71 m. Considerando-se os valores de média e desvio padrão calculados estima-se, através da tabela de distribuição normal, os valores de erro, considerando-se o intervalo de confiança de 90%:  $P(Z \leq z) = 0,90$ .

Na tabela de distribuição normal, o valor correspondente a 0,90 é 1,29.

$$(X - \mu) / \sigma = 1,29$$

$$X = (1,29 \times 0,715) + 1,7434 = 2,66 \text{ m}$$

Logo, tendo como base a amostra de pontos analisada, estima-se que, com um intervalo de confiança de 90% o erro nas coordenadas na imagem, após georreferenciamento e ortorretificação é de 2,66 m.

## 4.3. Inserção de Informações Temáticas e Geração de Produtos Cartográficos

Através do processamento das imagens de alta resolução, obtenção de dados vetoriais do Plano Específico de Zona de Proteção do Aeroporto de Porto Alegre, elaborados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo, projeção e identificação de obstáculos do entorno do aeroporto, identificação de implantações atrativas de pássaros, projeção da pista atual, futuro alcance da pista e limites atuais, bem como áreas de expansão do Sítio Aeroportuário, projeção das alterações no plano de Zona de Proteção em função da ampliação da pista, foram elaboradas Cartas Imagem e um Sistema de Informações Geográficas.

Foi identificado em cada polígono do Plano Específico de Zona de proteção, o nome da área e as informações técnicas como: limites de altitudes ou o ângulo vertical de limitação. Após essa identificação, elaborada a Carta Imagem do Plano Específico de Zona de Proteção do Aeroporto de Porto Alegre (Figura 4).

A análise de fatores impactantes à ampliação da pista do Aeroporto Internacional Salgado Filho foi elaborada para obtenção de uma Carta Imagem de conflitos entre obstáculos à Zona de Proteção e a ampliação da pista. A pista, em sua futura extensão, os futuros limites do sítio aeroportuário e os obstáculos na área de interesse para a ampliação da pista foram projetados e as coordenadas dos obstáculos foram obtidas em planilha resultante de levantamento topográfico realizado pelo Instituto de Cartografia Aeronáutica (2008). A grande maioria dos obstáculos projetados sobre a imagem localiza-se na área a ser abrangida pelo Sítio Aeroportuário permitindo a exclusão dos mesmos.

Com base nos levantamentos aqui descritos, o Sistema de Informações Geográficas do Aeroporto Internacional Salgado Filho, "SIG-SBPA" foi elaborado com o objetivo de análise detalhada de implantações e das informações temáticas como: dados patrimoniais e informações sobre: o meio ambiente, a zona de proteção de aeródromo, o plano de zoneamento de ruído e os projetos de obras. No referido SIG foi inserida a imagem de alta resolução e a imagem LANDSAT abrangendo uma área de raio de 20 km no entorno do aeroporto. Neste SIG foram analisados os seguintes temas, visando as respectivas áreas de gestão aeroportuária: Operações Aeroportuárias, Segurança Aeroportuária, Manutenção, Engenharia, Comercial, Meio Ambiente, Navegação Aérea, Financeira e Administração do Aeroporto

As informações cadastrais foram associadas aos respectivos dados vetoriais através de tabelas de atributos, com o objetivo de propiciar a análise e a localização rápida dos pontos e obstáculos cadastrados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização da imagem de alta resolução apresenta-se como técnica eficiente para as análises de obstáculos, após o processamento e aplicação de correções geométricas associadas às superfícies limitadoras de implantações no entorno de aeródromos. Verifica-se que um erro estimado de 2,66m nas coordenadas da imagem ortorretificada, considerando-se um intervalo de confiança de 90%, é tolerável dentro da maior parte dos parâmetros estabelecidos pelas superfícies limitadoras de obstáculos. O menor ângulo vertical é de 1/5, o que significa que, a cada 5m na horizontal, a superfície



Fig. 4 – Carta Imagem do Plano Específico de Zona de Proteção do Aeroporto de Porto Alegre.

limitadora sobe 1m. Considerando-se um erro horizontal de 2,6m, este ângulo vertical teria uma margem de erro vertical de aproximadamente  $(2,66/5) = 0,53$  m. A área mais crítica, é a Área de Aproximação, pois em grande parte dos casos, possui um ângulo vertical de 1/50, o que significa que, a cada 50 m de afastamento horizontal, a superfície limitadora sobe 1 m. Considerando-se o mesmo erro horizontal nas coordenadas, nesta área crítica, as limitações verticais calculadas a partir de coordenadas de obstáculos teriam um erro de  $(2,66/50) 0,053$  m.

A Carta Imagem do Plano Específico de Zona de Proteção do Aeroporto de Porto Alegre foi elaborada em escala 1:10.000 (Figura 4). As diversas limitações e critérios impostos por um Plano de Zona de Proteção de Aeródromo foram apresentados através da projeção das áreas estabelecidas no Plano Específico de Zona de Proteção de Aeródromo.

O uso do SIG foi a consulta de informações cadastradas de forma interativa, com visualização e possibilidade de medição de distâncias e determinação de coordenadas de objetos de interesse, além do cadastro de novas informações e produção de mapas temáticos. Portanto o SIG apresenta-se como ferramenta de apoio à decisão

nas atividades aeroportuárias, facilitando a identificação de áreas possíveis de expansão do Sítio Aeroportuário e de impactos causados por novas construções na área patrimonial do aeroporto. Além da ampliação para análise detalhada é possível consultar dados específicos sobre cada obstáculo contido na área de interesse, o que, apesar de não ser novidade no meio cartográfico, é uma ferramenta inovadora no meio aeroportuário.

Através dessas especificações, atingiu-se o erro horizontal estimado de 2,6 m, o nas coordenadas da imagem, estabelecendo-se um padrão de referência para utilização de imagens de alta resolução para gerenciamento de zonas de proteção de aeródromos e estabelecendo-se com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) Classe “A” para a escala das cartas elaboradas. Há a expectativa de, com pixels menores, atinja-se qualidade um erro ainda menor.

Comparando-se as imagens dos anos de 2001 e 2008, observou-se que houve expansão nas áreas invadidas no entorno do aeroporto, principalmente na área da Vila Nazaré, especificamente no trecho onde deverá ser instalado um dos equipamentos que compõe o Sistema de Pouso por Instrumentos (ILS), conforme identificado pelos contornos em branco na Figura 5.



Fig. 5 – Expansão nas áreas de interesse para ampliação da pista (comparação 2001/2008)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de imagens de alta resolução com as devidas correções geométricas para atividades que necessitam precisão nas medidas é viável para a localização de obstáculos e de áreas de interesse para futuras implantações nos planos de Zonas de Proteção de Aeródromo. A devida especificação para a aquisição de uma imagem de alta resolução, conforme apresentados para o processamento da mesma, garante um alto nível de qualidade que torna viável a aplicação dessa moderna ferramenta para o gerenciamento de zonas de proteção de aeródromos.

Comparando-se o uso de imagens de alta resolução com a topografia clássica para o gerenciamento de zonas de proteção de aeródromos, há vantagens no uso das imagens de alta resolução para os casos nos quais se necessita identificar, a partir de uma posição geográfica, o limite de altitude para determinada implantação, pois essas determinações podem ser realizadas instantaneamente sobre a imagem.

Assim, as imagens de satélite de alta resolução, com as devidas correções geométricas, apresentam contribuição técnica para o gerenciamento de zonas de proteção de aeródromos, facilitando e tornando mais ágil o entendimento e localização de obstáculos em áreas

de interesse e permitindo a medição de distâncias dentro dos Planos de Zonas de Proteção de Aeródromos, com erro determinado, levando ao meio da administração aeroportuária uma nova forma de tratar o gerenciamento de zonas de proteção de aeródromos, integrando metodologias desenvolvidas no meio científico com conceitos e regras estabelecidos pela Organização de Aviação Civil Internacional para o controle de obstáculos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO ET AL., 2008. Ortorretificação de imagens do satélite Quickbird para aplicações urbanas. **Revista Brasileira de Cartografia No 60/02 (ISSN 1808-0936)**;

BERNSTEIN, R, 1983. Image Geometry and Retification. In R, N Colwell (Ed.) **Manual of Remote Sensing**, 2c, Charter 21, Falls Church, Va American Society of Photogrametry, Virginia;

BRASIL, DECRETO 21.713, 1946. **Promulgação da Convenção de Aviação Civil Internacional**;

BRASIL - LEI 8.666, 1993. **Norma para Licitações e Contratos em Órgãos Públicos**;

BRASIL, Portaria N.º 68/DGCEA, 2005. **Plano Específico de Zona de Proteção de Aeródromo de Porto Alegre e Canoas**;

- BRASIL, PORTARIA 889/MD, 2008. **Obstáculos no entorno do Aeroporto de Porto Alegre.**
- BRASIL, Portaria 1.141/GM-5, 1987 - **Planos de Zona de Proteção de Aeródromo;**
- BRASIL, Portaria 256/GC-5, 2011. **Restrições relativas as implantações que possam afetar adversamente a segurança e a regularidade das operações aéreas;**
- BRASIL, Resolução N. 4 – CONAMA , 1995. **Áreas de Segurança Aeroportuária – ASA;**
- CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING - 2005 – **Fundamentals of Remote Sensing – 258p;**
- CELESTINO, VIVIAN – 2007 – **Padrão de Exatidão de Mapeamento para Imagens do Sensor Quickbird – Dissertação de Mestrado – CEPARM, 105 p. – Porto Alegre;**
- DA SILVA, HELOISA ALVES; MONICO, JOÃO FRANCISCO GALERA, 2007. **Ajustamento De Redes Gps Em Conformidade Com As Exigências Da Lei 10.267/2001 – V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – Presidente Prudente - p 130 - 136;**
- GEMAEL, CAMIL, 1994. **Introdução ao ajustamento de observações: Aplicações Geodésicas.** Curitiba: Editora da UFPR, 319 p;
- ICAO – ANNEX 14, 2006. **Aerodrome Design and Operations – 231p;**
- MEIRA ET AL, 2001. **Fiscalização de Processos de Uso e Ocupação do Solo em Áreas de Segurança Aeroportuária Utilizando Sistemas de Informações Geográficas – UFV – MG;**
- MONICO, JOÃO FRANCISCO GALERA, 2007. **Posicionamento pelo GNSS – Descrição, fundamentos e aplicações – 2ª. Edição – Editora UNESP – 476p;**
- PEREIRA, R. 1978. **A Estatística e Suas Aplicações.** Editora Grafosul. Porto Alegre, RS. 662p;
- REIS ET AL, 2005. **Uso de produtos de Sensoriamento Remoto gratuitos na Representação do Relevo – um potencial para a educação - Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1337-1344;**
- RICHARDS, JOHN, JIA, XIUPING, 2006 **Remote Sensing Digital Image Analysis – 454p;**
- ROCHA. R., 2002. **Exatidão Cartográfica Para As Cartas Digitais Urbanas.** Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, SC. 128p;
- SILVA, ANTONIO MACHADO E, 2001. **Curso de Processamento Digital de Imagens de Satélite – XX CBC – 68p;**
- SILVA, ANTONIO MACHADO E, 2007 - **O uso de polinômios racionais na ortorretificação de imagens de satélite - XIII CBC – p.1289 a 1295;**
- SÍTIO DE INTERNET DA AGÊNCIA ESPACIAL EUROPEIA – ESA: [http://www.esa.int/esaCP/SEM9F1JTYRF\\_Portugal\\_1.html](http://www.esa.int/esaCP/SEM9F1JTYRF_Portugal_1.html); Acesso em Janeiro de 2010;
- SÍTIO DE INTERNET DA DIGITAL GLOBE: [www.digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com); Acesso em Janeiro de 2010;
- SÍTIO DE INTERNET DA GEOEYE: [www.geoeye.com](http://www.geoeye.com); Acesso em Janeiro de 2010;
- SÍTIO DE INTERNET DO IBGE – **Apresentações “O que é”:** <http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/atlasescolar/apresentacoes/oquee.swf>; Acesso em Janeiro de 2010;
- SÍTIO DE INTERNET DO SRTM – NASA: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2>; Acesso em Janeiro de 2010;
- ZANARDI, RAFAEL, 2006. **Geração de Modelo Digital de Terreno a Partir de Par Estereoscópico do Sensor CCD do Satélite CBERS 2B e Controle de Qualidade das Informações Altimétricas – Dissertação de Mestrado - UFRGS - 94p.**