

INTEGRAÇÃO DE IMAGENS DE VÍDEO E DADOS DO SATÉLITE SPOT PARA ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA NÁUTICA

FRANCISCO ROGÉRIO RIBEIRO DA SILVA
JORGE ANTONIO SILVA CENTENO
EDSON APARECIDO MITISHITA

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Setor de Ciências da Terra
Departamento de Geomática, Curitiba, PR
{frsilva, mitishit, centeno}@geoc.ufpr.br

RESUMO – O Brasil é a economia mais importante do cone sul do continente americano, e tem mais de 95% de seu comércio exterior realizado por via marítima. Isso significa que a navegação é algo de extrema importância para sua balança comercial, sem falar em tudo o que dela decorre. A atualização de uma carta náutica não é feita somente por levantamentos batimétricos, mas também pelo contorno, importante ao navegante para o reconhecimento de pontos em terra. Isso é feito através de levantamentos aerofotogramétricos, que normalmente utilizam equipamentos dispendiosos. Por que, então, não utilizar uma câmara de vídeo comum para fins fotogramétricos? Certamente as câmaras de vídeo digitais comuns ainda não apresentarão resultados iguais às câmaras métricas, mas, se suas imagens forem fundidas com imagens de satélite para melhorar sua resolução geométrica, proverão mais detalhes e facilidade para atualização cartográfica náutica. Este trabalho tem por objetivo verificar a viabilidade do uso de imagens de vídeo digital de uma câmara comum fundidas com uma imagem do satélite SPOT, para atualização cartográfica náutica. Um experimento foi realizado na cidade de Rio Grande (RS).

ABSTRACT – Brazil is the most important economy in the Southern American continent, and over 95% of its international trade is made through the sea. This means that navigation is truly important to trade balance, not mentioning all the rest that comes from that. Updating a nautical chart is done not only through bathymetric surveys, but also by shore lines, which are critical for the navigator in order to recognize details on the coast. That is accomplished using aerial photogrammetric surveys, which employ expensive equipment. Why then shouldn't one use a common video digital camera for photogrammetric uses? Surely video cameras will not grant results as precise as metric cameras do, but if their images are merged with satellite images to improve geometric resolution, they will provide more details and will be easier to use for nautical chart updating. This work verifies the viability of using common digital video camera stills merged with a SPOT satellite image, for nautical chart updating. An experiment was conducted in the city of Rio Grande, RS.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é a economia mais importante do cone sul do continente americano, e tem mais de 95% de seu comércio exterior realizado por via marítima. Isso significa que a navegação é algo de extrema importância para sua balança comercial, sem falar em tudo o que dela decorre.

A navegação depende de um mapeamento náutico de qualidade. Com melhores e mais precisas cartas náuticas, o valor de um frete comercial cai, a capacidade de carga pode aumentar, as rotas comerciais se tornam mais seguras, e tudo isso contribui para gerar divisas, aumentar exportações, desenvolver o país.

No Brasil, as cartas náuticas são confeccionadas pela Marinha, mais precisamente pela Diretoria de

Hidrografia e Navegação (DHN). Têm qualidade reconhecida internacionalmente, estando entre as melhores e mais confiáveis do mundo. Mas o leito dos mares e águas interiores navegáveis é dinâmico, restando aos hidrógrafos sempre muito que fazer para mantê-las atualizadas.

Imagens não-métricas captadas por sensores de baixa resolução, aerotransportados ou não, têm normalmente um baixo custo e uma grande facilidade de manipulação, porém, não podem servir como base para a obtenção de dados de maior precisão, limitadas que são por sua resolução geométrica. Fundidas a uma imagem satélite de melhor resolução geométrica, o problema seria minimizado ou mesmo eliminado.

O processo fotogramétrico analítico e digital, apesar de se basear em princípios fundamentais, está em

constante evolução. A prova disso é a procura por métodos alternativos, que visam a otimizar o binômio custo-benefício.

CADY, HODGSON, e PAIRMAN (1981) desenvolveram um sensor multiespectral a ser aerotransportado, baseado nas tecnologias de componentes discretos de estado sólido (matrizes de sensores) e microcomputadores. Eles demonstraram que seu sistema possuía as vantagens de melhor linearidade e alcance dinâmico, resposta espectral maior, geração direta de dados digitais e mostra em tempo real das imagens captadas.

Por que, então, não utilizar uma câmara de vídeo comum para fins fotogramétricos? Vários trabalhos são encontrados na literatura sobre este aspecto, em especial para detecção de mudanças em culturas ou regiões. Mas se as mudanças podem ser delimitadas a uma região com o auxílio de programas que detectam fronteiras (*edge-detection*), por que não utilizar todo este aparato para imagear uma região que necessite de atualização cartográfica rápida, preferencialmente a custo irrisório, se comparado aos vários processos ora existentes?

Este trabalho se justifica pelo uso de processos consagrados da fotogrametria analítica e digital para viabilizar o uso de imagens digitais obtidas por uma câmara de vídeo comum — aerotransportada por um helicóptero — para obter dados métricos da superfície terrestre e aplicá-los à atualização cartográfica náutica. Uma imagem digital produzida por uma câmara de vídeo comum poderia, após um tratamento analítico, tornar-se importante ferramenta fotogramétrica.

2 VIDEOGRAMETRIA E FUSÃO DE IMAGENS

Combinando-se as definições de Fotogrametria do Manual of Photogrammetry da American Society of Photogrammetry (1980) com uma definição apresentada por MAGRO (1995) e se enunciar a Videogrametria como: “Videogrametria é a arte, a ciência e a tecnologia de se obter informações confiáveis sobre objetos físicos e meio-ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de cenas de vídeo e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos”.

O processo videogramétrico compreende as seguintes fases:

- a) videografar o objeto, utilizando um equipamento calibrado, de modo a poder restaurar a geometria projetiva;
- b) capturar as imagens de vídeo num computador pessoal, transformando-as para o meio digital;
- c) medir a geometria do objeto utilizando um programa de processamento de imagens digitais; e
- d) tornar as medidas próprias para utilização e visualização, ou seja, produzir mapas ou listas de coordenadas.

A utilização de câmaras de vídeo para fins fotogramétricos tem uma grande desvantagem: a baixa resolução espacial dos sensores no mercado; porém, tal

fato logo deixará de ser um obstáculo, pois os equipamentos evoluem rapidamente, tornando-se melhores e de custo também acessível. A câmara de vídeo tornar-se-á um importante sensor em menos de uma década, com as seguintes vantagens: baixo custo; disponibilidade em tempo real ou próxima de tempo real das imagens; potencial para processamento digital do sinal; e redundância de dados, pois as imagens são adquiridas a cada 1/30 segundo, produzindo múltiplas imagens de um alvo ou cena (MAUSEL et al, 1992).

Entretanto, pode-se melhorar a resolução geométrica de câmaras de vídeo usando-se a fusão de imagens. A fusão de imagens permite ao usuário obter uma imagem híbrida, formada de duas outras, uma delas multiespectral e outra de maior resolução. No caso de imagem obtida por sensoriamento remoto, é, geralmente, a banda pancromática, pois esta apresenta melhor resolução espacial que as outras. A fusão de imagens tem sido um procedimento largamente utilizado por causa do modo complementar em que os vários conjuntos de dados atuam entre si (CHAVEZ; ANDERSON; SIDES, 1991). Obtém-se, com a fusão de imagens, uma imagem com o mesmo número de bandas da imagem multiespectral, porém, com maior resolução.

Dependendo da altitude de vôo e da resolução espacial da câmara de vídeo, pode-se obter uma imagem melhor que a SPOT-HRV neste aspecto. Por que, então, fundir uma imagem colorida de vídeo de uma câmara comum com uma imagem pancromática? A resposta é dada por CHAVEZ (1986), ao dizer que um usuário pode — ao fundir dados de diferentes tipos — tirar vantagem das características únicas de cada conjunto de dados, ou seja, com a fusão, a imagem híbrida apresenta características de todos os conjuntos de dados. Por exemplo: para atualização de uma carta náutica de um rio, cuja água seja barrenta e que apresente margens sem vegetação nalguns pontos, é difícil delimitar onde termina a margem e, conseqüentemente, onde começa a água.

Substituir uma banda do conjunto multiespectral por outra que contenha um tipo diferente de informação é o método consagrado de fusão de imagens no domínio da imagem. Esta substituição é feita, via de regra, nos sistemas IHS (*Intensity, Hue, Saturation* – Intensidade, Matiz e Saturação) e PCA (*Principal Components Analysis* – Análise por Componentes Principais), ou seja, há uma rotação do sistema normalmente utilizado (RGB – *Red, Green, Blue* – Vermelho, Verde, Azul) para algum dos dois anteriormente mencionados, a substituição da banda de informação comum a todas as bandas do sistema de cor inicial pela banda de interesse, e o retorno ao sistema inicial.

CARPER, LILLESAND e KIEFER (1990) enunciaram que se deve assegurar que a banda de maior resolução mantenha uma forte correlação com a banda de intensidade do conjunto de menor resolução. De outra maneira, pequenas variações de intensidade podem ser obscurecidas.

Existem alternativas para efetuar a fusão, como os métodos de fusão pixel a pixel (SCHOWENGERDT, 1980). No presente trabalho foi utilizado o método de

fusão de imagens por substituição de bandas, usando os sistemas de cor RGB e IHS.

3 EXPERIMENTO EFETUADO

Foi realizado um vôo videogramétrico sobre a cidade portuária de Rio Grande (RS), usando uma câmara de vídeo modelo JVC GR-DVF10U, de uso comum, com resolução de 720 colunas x 576 linhas. Para utilizar-se uma câmara comum para fins videogramétricos, necessário se faz conhecer seus parâmetros de distorção, ou seja, aqueles que permitem corrigir os erros sistemáticos da imagem, causados pela distorção radial simétrica, distorção descentrada e erros de escala e não-ortogonalidade entre eixos.

3.1 Calibração da câmara de vídeo

Como este equipamento (Figura 1) não se encontrava calibrado, foi necessário efetuar a calibração da câmara antes de sua utilização. Para isto, utilizou-se o campo de calibração existente no Centro Politécnico da UFPR e o método das Câmaras Convergentes.



Figura 1 – Câmara de vídeo GR-DVF10U.

De fácil implementação, este método precisa apenas de um campo de calibração, que pode ser uma parede com marcas espaçadas regularmente. No presente trabalho, utilizou-se o campo de calibração existente na parede externa do bloco VI da UFPR, no Centro Politécnico (Figura 2).

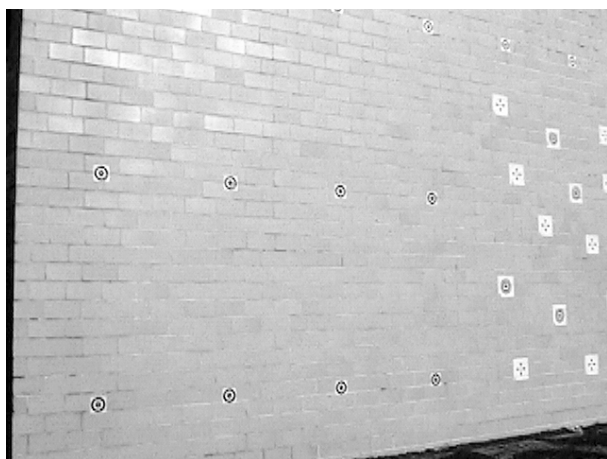


Figura 2 – Campo de calibração da UFPR (Bloco VI do Centro Politécnico).

Foram, então, tiradas onze fotos do campo de calibração, duas delas sem rotação (em relação à posição normal de uso), três delas com a câmara rotacionada de 90° (no sentido anti-horário), três delas com uma rotação de 180°, e três delas rotacionadas de 90° (no sentido horário). A partir de doze pontos, foram obtidas cento e trinta e duas leituras, ou seja, duzentas e sessenta e quatro coordenadas para os pontos. Foi elaborado um programa em MATLAB para efetuar o ajustamento pelo método paramétrico com injunções. Este programa lê os pontos em coordenadas no referencial de tela, transforma-os para o referencial fiducial, lê as coordenadas dos pontos no referencial do espaço-objeto, e realiza o ajustamento. É possível selecionar os pontos com os quais se deseja que sejam feitas as injunções de posição e de distância.

A convergência é alcançada rapidamente (cerca de dez iterações). O programa pode rodar em qualquer computador pessoal, desde que possua o aplicativo MATLAB instalado, e memória suficiente para manipular matrizes de dimensões consideráveis.

O modelo utilizado é o mostrado nas equações (1), conhecido como modelo implícito

$$\begin{aligned} F_x &= x_f - x_0 - \delta r_x - \delta d_x - \delta e_x - x = 0 \\ F_y &= y_f - y_0 - \delta r_y - \delta d_y - \delta e_y - y = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

As coordenadas x_f e y_f estão no referencial fiducial; x_0 e y_0 são as coordenadas do ponto principal naquele referencial; x e y são os valores de coordenadas calculados pelas equações de colinearidade.

Os valores da distorção radial simétrica são dados pelas equações (2)

$$\begin{aligned} \delta r_x &= (K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4 + K_3 \cdot r^6) \cdot x_p \\ \delta r_y &= (K_1 \cdot r^2 + K_2 \cdot r^4 + K_3 \cdot r^6) \cdot y_p \\ r &= \sqrt{x_p^2 + y_p^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Os valores de coordenadas fotogramétricas x_p e y_p são dados pelas equações (3)

$$\begin{aligned} x_p &= x_f - x_0 \\ y_p &= y_f - y_0 \end{aligned} \quad (3)$$

Os valores da distorção descentrada são dados pelas equações (4)

$$\begin{aligned} \delta d_x &= P_1 \cdot (r^2 + 2 \cdot x_p^2) + 2 \cdot P_2 \cdot x_p \cdot y_p \\ \delta d_y &= 2 \cdot P_1 \cdot x_p \cdot y_p + P_2 \cdot (r^2 + 2 \cdot y_p^2) \end{aligned} \quad (4)$$

Os valores dos erros causados pelas diferenças de escala e não-ortogonalidade entre os eixos são dados pelas equações (5)

$$\begin{aligned} \delta e_x &= A \cdot (x_f - x_0) \\ \delta e_y &= B \cdot (x_f - x_0) \end{aligned} \quad (5)$$

encoberta por nuvens, e não houve condições meteorológicas que permitissem outro voo.

3.3 Imagens

As imagens digitais foram capturadas para um microcomputador pessoal, a fim de que pudessem ser manipuladas, através de uma placa de captura (independente da placa de vídeo), que permite receber os dados em três formatos: 640 x 480; 320 x 240; ou 160 x 120 (colunas x linhas), sempre mantendo a razão 4:3. Estes formatos são os utilizados para o referencial de tela.

Para o formato de 640 x 480, o IFOV, ou seja, o tamanho do pixel no terreno, é de cerca de 3,5m. Para o formato de 320 x 240, o IFOV é de 7m, enquanto que para o formato de 160 x 120, o IFOV será de 14m.

O recobrimento utilizado foi de cerca de 60% no eixo de deslocamento.

3.4 Altimetria – Modelo Digital do Terreno (MDT)

As informações de altimetria dos pontos de controle foram conseguidas através de um levantamento GPS estático realizado por uma equipe volante do CHM, na cidade de Rio Grande e área metropolitana, durante o mês de abril de 2001, complementado por um adensamento — também através de levantamentos GPS estáticos — feito em maio de 2002. Foram usados vinte e três pontos.

O MDT foi obtido com o uso do programa SURFER, com um espaçamento de 3,5m entre os nós da malha regular de pontos. Na verdade, ao ser gerado o MDT, o intervalo entre os nós na direção leste foi de 3,5027m, enquanto que na direção norte foi de 3,50014m. A princípio, pensou-se em usar um espaçamento de 10m, referente ao tamanho do pixel da imagem pancromática SPOT no terreno, entretanto, tendo em vista a melhor resolução geométrica da câmara de vídeo, o espaçamento do MDT foi reduzido para 3,5 metros.

A priori, poder-se-ia dizer que gerar um MDT a partir de apenas vinte pontos seria um contra-senso, contudo, a região permite que isso seja feito, em virtude das mínimas variações altimétricas da área de estudo, que é bastante plana. As edificações (prédios, galpões, etc.) foram consideradas com cota nula.

3.5 Geração de ortofotos e mosaico

Para gerar ortofotos são necessários os parâmetros de orientação exterior das imagens as quais se deseja ortorectificar. Tais parâmetros foram obtidos por aerotriangulação, usando-se vinte e três pontos, dos quais doze foram aerotriangulados; apenas onze foram injuncionados. Na verdade, todos os pontos poderiam ter sido injuncionados, em virtude de serem conhecidas suas coordenadas, mas preferiu-se considerar uma situação mais próxima da realidade. Poder-se-ia ter usado uma resseção espacial para cada imagem de vídeo, o que tornaria ainda mais fácil o trabalho, apesar de repetitivo. Escolheu-se a aerotriangulação de uma faixa (*bundle*

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros significativos obtidos

Tabela 1 – Parâmetros de calibração calculados.

	Valor ajustado	Desvio-padrão
x_0	-0,24179mm	0,030426mm
y_0	0,083022mm	0,026785mm
c	6,8254mm	0,025885mm
K_1	$-1,2106 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^{-2}$	$6,3887 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-2}$
K_2	$-1,2034 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-4}$	$9,1913 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^{-4}$
P_1	$-5,1341 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-2}$	$1,6573 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-2}$
P_2	$2,904 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-2}$	$1,6565 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-2}$
A	$7,3281 \cdot 10^{-2}$	$5,4573 \cdot 10^{-4}$

Finalmente, as equações de colinearidade são dadas por

$$x = -c \frac{m_{11} \cdot (X - X_0) + m_{12} \cdot (Y - Y_0) + m_{13} \cdot (Z - Z_0)}{m_{31} \cdot (X - X_0) + m_{32} \cdot (Y - Y_0) + m_{33} \cdot (Z - Z_0)} \quad (6)$$

$$y = -c \frac{m_{21} \cdot (X - X_0) + m_{22} \cdot (Y - Y_0) + m_{23} \cdot (Z - Z_0)}{m_{31} \cdot (X - X_0) + m_{32} \cdot (Y - Y_0) + m_{33} \cdot (Z - Z_0)}$$

onde

$$\begin{cases} m_{11} = \cos(\varphi) \cdot \cos(\kappa) \\ m_{12} = \cos(\omega) \cdot \text{sen}(\kappa) + \text{sen}(\omega) \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \cos(\kappa) \\ m_{13} = \text{sen}(\omega) \cdot \text{sen}(\kappa) - \cos(\omega) \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \cos(\kappa) \\ m_{21} = -\cos(\varphi) \cdot \cos(\kappa) \\ m_{22} = \cos(\omega) \cdot \text{sen}(\kappa) - \text{sen}(\omega) \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\kappa) \\ m_{23} = \text{sen}(\omega) \cdot \cos(\kappa) + \cos(\omega) \cdot \text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(\kappa) \\ m_{31} = \text{sen}(\varphi) \\ m_{32} = -\text{sen}(\omega) \cdot \cos(\varphi) \\ m_{33} = \cos(\omega) \cdot \cos(\varphi) \end{cases} \quad (7)$$

Evidentemente, κ , φ , ω , X_0 , Y_0 e Z_0 são os parâmetros de orientação exterior das fotos e c é a distância focal.

3.2 Filmagem e helicóptero

O helicóptero utilizado foi um UH-12 Esquilo monoturbinado, do 5º Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral, da Marinha do Brasil, situado na cidade de Rio Grande (RS). Foi realizado em 24 de outubro de 2001 um voo à altitude de 10.000 pés (aproximadamente 3.050 metros) sobre a cidade e sua área litorânea.

Usando-se um suporte desenvolvido no SSN-5, montado usando-se partes antes consideradas como inutilizáveis, filmou-se com a câmara de vídeo a área de pesquisa. Infelizmente, boa parte das imagens encontra-se

adjustment – ajustamento em bloco) por ser um método que permite a determinação simultânea dos parâmetros de orientação exterior de todas as imagens, homogeneizando os resultados. A Tabela 2 mostra as coordenadas E e N (planimétricas) aerotrianguladas e seus desvios-padrão.

Foi desenvolvido um programa em MATLAB para gerar ortofotos. O programa lê a imagem capturada — que não sofreu correção alguma —, lê o MDT da área da imagem, aplica as equações de colinearidade, obtendo as coordenadas fotogramétricas, adiciona os erros sistemáticos a elas, transforma as coordenadas de fotogramétricas para fiduciais e posteriormente de fiduciais para linha x coluna, e finalmente interpola o nível de cinza (por interpolação bilinear), mapeando a nova imagem pelo processo inverso. Para gerar ortofotos coloridas, foi necessário realizar este processo para cada uma das três bandas (RGB).

bem como os intervalos em E e N em metros, pode-se gerar um arquivo com extensão .TFW, que orienta as imagens supracitadas — um arquivo para cada imagem —, georreferenciando-as. Com isso, o programa ENVI é capaz de mosaicar as ortofotos, montando uma ortoimagem georreferenciada.

A Figura 3 mostra a ortoimagem obtida através da mosaicagem de quatro ortofotos. Note-se a presença de sombras causadas por nuvens.

Tabela 2 – Coordenadas aerotrianguladas.

Pto.	E (m)	N (m)	σ_E (m)	σ_N (m)	Injunc.
1	395758,970	6447568,800	0,035	0,035	Sim
2	395282,690	6447637,600	9,865	9,620	Não
3	394505,210	6447344,700	0,008	0,008	Sim
4	395345,800	6447312,500	8,190	6,251	Não
5	395908,350	6446768,300	7,075	6,338	Não
6	395158,500	6446854,700	7,496	5,799	Não
7	394904,710	6446622,800	10,060	6,661	Não
8	395779,440	6446316,200	4,085	4,329	Sim
9	395171,480	6446377,300	8,936	8,110	Não
10	395146,140	6445817,100	0,001	0,001	Sim
11	394812,040	6445578,000	0,378	0,378	Sim
12	395927,840	6445245,700	0,004	0,004	Sim
13	395628,270	6445246,000	6,291	6,377	Não
14	394949,300	6445036,400	0,176	0,176	Sim
15	394482,640	6444636,800	21,099	9,885	Não
16	395726,360	6444505,000	5,722	6,870	Não
17	395171,520	6444534,600	5,581	5,780	Não
18	394599,780	6444127,800	0,003	0,003	Sim
19	395685,260	6443903,800	6,796	9,402	Não
20	395327,040	6443640,900	0,099	0,089	Sim
21	394516,360	6443783,300	16,264	11,114	Não
22	395877,010	6443623,000	0,378	0,378	Sim
23	394833,040	6443507,000	0,378	0,378	Sim

Certamente não se podem comparar estes resultados com os obtidos por câmaras métricas, mas eles são promissores, tendo-se em mente que foi utilizada uma câmara comum, calibrada para uso terrestre, considerando-se — por simplificação — que as coordenadas do ponto principal são invariáveis.

O programa ENVI foi utilizado para fazer o mosaico das ortofotos. Dos seis quadros iniciais, foram obtidas quatro ortofotos, ou seja, doze imagens de vídeo retificadas, uma para cada banda, todas salvas em formato TIFF, não comprimidas. Sabendo-se o tamanho da imagem correspondente à área do MDT por ela coberta,

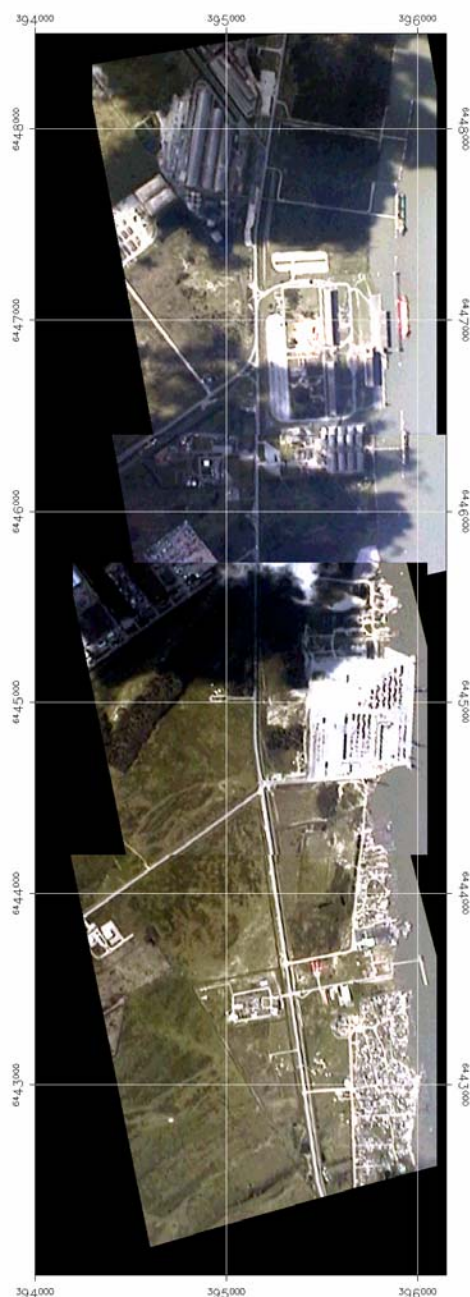


Figura 3 – Ortoimagem da cidade de Rio Grande (RS).

3.6 Comparação entre coordenadas de terreno e ortoimagem

Para se ter idéia da qualidade do produto gerado, é necessária uma base ou referência. Neste caso, como se possuem as coordenadas de todos os pontos, pode-se realizar uma comparação por toda a área da ortoimagem, e verificar a qualidade de sua geração. A Tabela 3 mostra a comparação entre as coordenadas planimétricas do terreno e as medidas na ortofoto.

As linhas da tabela que estão hachuradas correspondem às coordenadas que foram retiradas de uma imagem SPOT da área, registrada, com erro médio de doze metros, para servirem como parâmetros iniciais da aerotriangulação (não injuncionados).

Tabela 3 – Diferenças entre coordenadas de terreno e ortoimagem.

Ponto	Δ_E		Δ_N	
	metros	pixels	metros	pixels
1	0,01	0,00	0,01	0,00
2	10,94	3,13	6,66	1,90
3	0,00	0,00	0,03	0,01
4	3,20	0,91	3,50	1,00
5	3,65	1,04	4,30	1,23
6	2,50	0,71	7,30	2,09
7	2,71	0,77	2,20	0,63
8	2,56	0,73	3,20	0,91
9	11,52	3,29	6,70	1,91
10	0,00	0,00	0,04	0,01
11	0,04	0,01	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,05	0,01
13	4,64	1,33	1,74	0,50
14	0,02	0,00	0,03	0,01
15	11,69	3,34	7,30	2,09
16	2,64	0,75	15,00	4,29
17	2,48	0,71	11,60	3,31
18	0,00	0,00	0,03	0,01
19	18,37	5,25	0,46	0,13
20	0,00	0,00	0,00	0,00
21	1,65	0,47	1,66	0,47
22	0,25	0,07	1,12	0,32
23	0,33	0,09	1,62	0,46

Valor médio de | Δ_E |: 3,44m.

Valor médio de | Δ_N |: 3,24m.

3.7 Registro da imagem SPOT e fusão

Registrar uma imagem significa tornar a imagem correspondente com a realidade do terreno imageado, minimizando ou eliminando as distorções geométricas. Neste trabalho, a princípio pensou-se em registrar a imagem HRV-pancromática utilizando-se como pontos de controle aqueles cujas coordenadas foram levantadas por uma equipe volante da DHN em abril de 2001. O registro

desta imagem foi realizado, com vinte e dois pontos de controle e cinco de verificação. O erro máximo encontrado foi de cerca de doze metros, o que é bastante satisfatório, já que a imagem possui resolução geométrica de dez metros. No entanto, a imagem não foi registrada desta maneira, pois a resolução geométrica da imagem de vídeo no terreno era de 3,5m, tornando um registro imagem a imagem, tendo como base a faixa de ortofotos mosaicada, muito melhor. O erro deste registro foi de aproximadamente 7m, mas a imagem teve que ser interpolada, em virtude das diferenças de resolução geométrica.

À definição do tema deste trabalho, pensou-se que uma fusão de imagens geradas por uma câmara de vídeo comum teriam a baixa resolução geométrica compensada pela imagem HRV-pancromática do satélite SPOT. Entretanto, verificou-se que as imagens de vídeo eram geometricamente melhores que as do satélite. Tratou-se então de tentar utilizar a imagem SPOT como base para uma possível detecção automática de bordas, mais especificamente, da linha de costa. Isto seria feito através da fusão da imagem SPOT com a ortoimagem, gerando uma imagem híbrida colorida, com a resolução geométrica do satélite. Contudo, verificou-se que a fusão não trazia melhoria prática alguma, ao contrário da ortoimagem, em especial pelas grandes sombras causadas por nuvens durante o processo de imageamento da área, bem como pela desatualização da imagem SPOT.

A Figura 4 mostra o resultado da fusão da ortoimagem com a imagem HRV-pancromática.



Figura 4 – Fusão da ortoimagem com a imagem SPOT.

3.8 Comparação entre os contornos da carta náutica de Rio Grande e da ortomagem

Utilizou-se o programa ArcView GIS 3.2 para gerar um contorno e algumas feições da carta náutica. Na Figura 5 podem-se comparar o contorno da carta náutica (digitalizada) e o gerado pelo programa ArcView. Circundados em vermelho estão pontos na carta náutica, com seus correspondentes no contorno — gerado a partir da ortomagem —, e observa-se a necessidade de uma atualização.

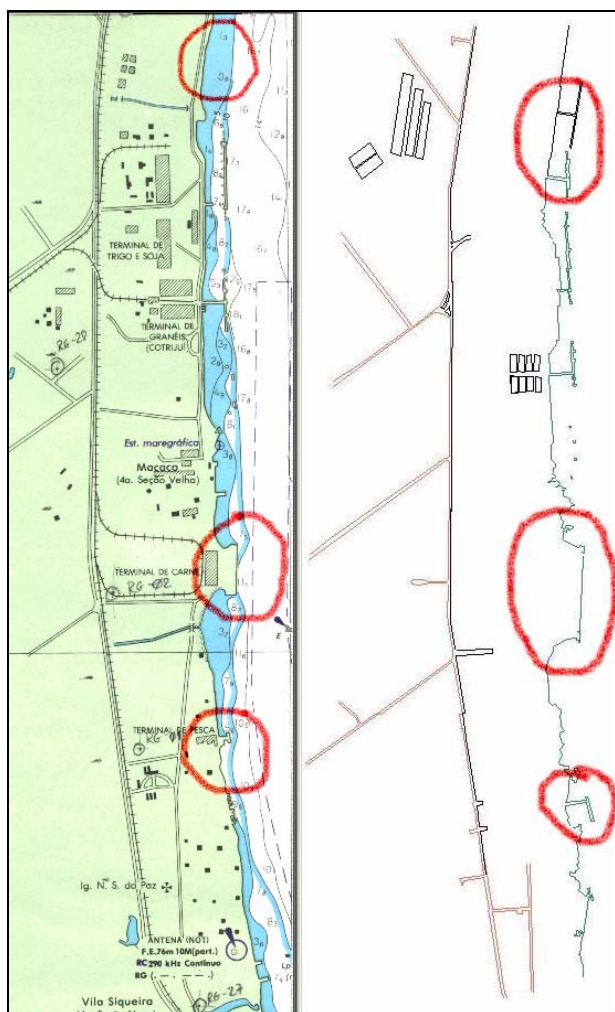


Figura 4 – Carta náutica e contorno da ortofoto.

Os três envoltórios vermelhos indicam, de cima para baixo: 1) dois terminais de cereais que não existiam; 2) a expansão do terminal de contêineres, outrora um terminal de carne; e 3) o surgimento do cais da Estação Naval do Rio Grande, da Marinha do Brasil.

Obviamente, o contorno gerado a partir da ortofoto foi feito apenas para ilustrar a necessidade de uma nova edição da carta náutica do porto de Rio Grande, nº 2101. Através do presente trabalho, foi confirmado um erro de datum na produção da carta 2101, que causa problemas de posicionamento da ordem de 150m. A DHN já se encontra corrigindo este erro, a fim de que uma nova

edição da carta 2101 possa chegar às mãos dos navegantes.

4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os resultados ora apresentados ainda não são compatíveis com câmaras métricas, mas ao se levar em conta que, mesmo seguindo padrões científicos, pode-se dizer que foi uma produção “artesanal”, o uso de câmaras comuns para fins videogramétricos é promissor. Outros fatores a serem considerados são: 1) o vôo foi feito a bordo de um helicóptero, que não é a aeronave mais adequada para obtenção de imagens videogramétricas aéreas; e 2) a câmara foi fixada ao helicóptero usando-se um suporte feito com material reciclado, sem amortecimentos nem compensações de balanço, caturro, deriva ou abatimento.

As câmaras de vídeo digitais que estão no mercado para o usuário comum podem apresentar trabalhos de um padrão aceitável, dependendo da escala que se queira. A escala da ortofoto foi de 1:17.000, porém, a escala da imagem, ao se considerar a distância focal e a altitude de vôo (10.000 pés) é de 1:446.860. Sendo assim, um erro médio de dez metros — que é a resolução geométrica da imagem SPOT — é bastante aceitável. No entanto, o maior erro foi de 18,37m, de uma coordenada que por sua vez já apresentava erro de cerca de 12m.

Ao se calcular a escala de uma possível carta a ser produzida com um erro de 18,37m, considerando-se o erro gráfico como 0,2mm, obtém-se uma escala de 1:91.850. Como se pode fazer uma retificação para até três vezes o valor da escala, ter-se-ia a possibilidade de produzir uma carta com a escala aproximada de 1:30.600, o que já é satisfatório para uma carta de entrada de porto. Considerando-se o erro de 12m, ter-se-ia uma escala de 1:60.000, podendo ser retificada até 1:20.000.

O uso de imagens de satélite para melhoria da resolução geométrica do vídeo ainda pode ser testado, desde com uma plataforma orbital cuja apresentação visual seja melhor que a da câmara digital empregada. Podem ser testadas imagens obtidas de satélites como o IKONOS (banda pancromática), ou mesmo o QuickBird, contudo, o leitor deverá ter o cuidado de verificar se as imagens são oblíquas ou nadirais, a fim de não ter problemas ao realizar a fusão, tais como fachadas indesejadas de prédios.

REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of photogrammetry**. 1980.

CADY, F. M.; HODGSON, R. M.; PAIRMAN, D. A solid-state airborne sensing system for remote sensing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 47, n. 2, p. 177-182, fev. 1981.

- CARPER, W. J.; LILLESAND, T. M.; KIEFER, R.W. The use of intensity-hue-saturation transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 56, n. 4, p. 459-467, abr. 1990.
- CHAVEZ, P. S. Digital merging of LANDSAT TM and digitized NHAP data for 1:24,000-scale image mapping. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 52, n. 10, p. 1637-1646, out. 1986.
- CHAVEZ, P. S.; ANDERSON, J. A.; SIDES, S.C. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: LANDSAT TM and SPOT panchromatic. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 57, n. 3, p. 295-303, mar. 1991.
- MAGRO, F. H. S. Videogrametria. In: _____. **Cartografia e Cadastro**. Instituto Português de Cartografia e Cadastro, Lisboa, dez. 1995, nº 3. p. 35-40.
- MAUSEL, P. W. et al. Airborne videography: current status and future perspectives. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 58, n. 8, p. 1189-1195, ago. 1992.
- SCHOWENGERDT, R.A. Reconstruction of multispatial, multispectral image data using spatial frequency contents. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 46, n. 10, p. 1325-1334, out. 1980.
- BIBLIOGRAFIA**
- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBBE, 1998.
- ANDRADE, J. B.; OLIVAS, M. A. A. Calibração de câmaras aerofotogramétricas. **Boletim da Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, nº 26, 1981.
- BROWN, D. C. **An advanced reduction and calibration for photogrammetric cameras**. EUA: Instrument Corp of Florida, 1964.
- BROWN, D. C. **Decentering distortion and the definitive calibration of metric cameras**. The American Society of Photogrammetry Convention, mar., 1965.
- BROWN, D. C. Decentering distortion of lenses. **Photogrammetric Engineering**. v. 32, n. 3, 1966.
- CHAVEZ, P. S.; KWARTENG, A. Y. Extracting spectral contrast in landsat thematic mapper imager data using selective principal component analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 55, n. 3, p. 339-348, out. 1989.
- DENT, B. D. **Principles of thematic map design**. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1985.
- EL-HAKIM, S.F. Real-time image metrology with CCD cameras. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 52, n. 11, p. 1757-1766, nov. 1986.
- GALO, M. **Calibração e aplicação de câmaras digitais**. Curitiba, 1993. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- GALO, M.; HASEGAWA, J. K.; TOMMASELLI, A. M. G. Avaliação geométrica de câmaras de vídeo para uso em fotogrametria digital. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2000, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R.E. **Processamento de imagens digitais**. Edgard Blücher Ltda. 2000.
- JAIN, R.; KASTURI, R.; SCHUNCK, B.G. **Machine Vision**. MIT Press and McGraw-Hill, Inc. 1995.
- JONHSON, R. A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4. ed. Prentice-Hall, Inc. 1988.
- LUGNANI, J. B. **Introdução à fototriangulação**. Curitiba: Ed UFPR, 1987.
- MAUSEL, P. W. et al. Airborne videography: current status and future perspectives. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 58, n. 8, p. 1189-1195, ago. 1992.
- MITSHITA, E. A. **Monorestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica CAD, para fins de mapeamento na área florestal**. Curitiba, 1997. 252 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- MONIWA, H. **Analytical photogrammetric system with self-calibration and its applications**. Ph. D. Thesis, Department of Surveying Engineering, UNB, 1977.
- OLIVAS, M. A. A. **Calibração de câmaras fotogramétricas**. Curitiba, 1980. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- SCHOWENGERDT, R.A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. Academic Press, Inc. 1983.