

## Atualização Cartográfica Baseada em Imagens Digitais Retificadas

Elias Ribeiro de Arruda Junior <sup>1</sup>

Júlio Kiyoshi Hasegawa <sup>2</sup>

Nilton Nobuhiro Imai <sup>3</sup>

UNESP - Universidade Estadual Paulista  
FCT - Faculdade de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Cartografia  
Rua Roberto Simonsen, 305 - CP 468  
19060-900 Presidente Prudente SP, Brasil  
Fone: (0xx18) 229-5325, Fax: (0xx18) 229-5388

<sup>1</sup> ✉ [elias@prudente.unesp.br](mailto:elias@prudente.unesp.br)

<sup>2</sup> ✉ [hasegawa@prudente.unesp.br](mailto:hasegawa@prudente.unesp.br)

<sup>3</sup> ✉ [nimai@prudente.unesp.br](mailto:nimai@prudente.unesp.br)

### Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Atualização Cartográfica (atualização da base vetorial)
- 3 Retificação (Módulo implementado)
- 4 Protótipo implementado
- 5 Experimentos
  - 5.1 Experimento com imagem de uma placa de aço (laboratório)
  - 5.2 Experimento com imagem aérea
- 6 Conclusão
- 7 Bibliografia

**Resumo :** O presente trabalho apresenta uma ferramenta que possibilita a atualização cartográfica de mapas vetoriais a partir da digitalização de feições em imagens digitais retificadas, que foram obtidas por uma câmara digital. O processo de retificação de imagens digitais, passa pelas seguintes etapas: orientação interior, resseção fotogramétrica e geração da imagem digital por interpolação bilinear. O processo de retificação foi implementado no sistema de atualização desenvolvido por ARRUDA (1999), de forma a compartilhar todas as funções de atualização já existentes.

**Palavras chave :** Retificação, imagem digital, interpolação bilinear, resseção fotogramétrica, atualização cartográfica, comparador digital.

**Abstract :** This work presents the development of a tool that can do a cartographic update of maps from of rastering on rectified digital images that acquired which by digital camera. The rectification digital images process: inner orientation, photogrammetric resection and digital image generation for bilinear interpolation. The rectification process was implemented on update system developed by ARRUDA (1999), by sharing all available tolls.

**Keywords :** Retification, digital image, bilinear interpolation, photogrammetric resecion, cartographic updade, digital comparator.

### 1 Introdução

O processo de atualização cartográfica vem recebendo importantes contribuições, principalmente no que se refere à aquisição de dados o que, por sua vez, tem possibilitado uma melhor manutenção da fidelidade das informações cartográficas. Por outro lado, o homem vem utilizando a Terra de forma cada vez mais intensa e, conseqüentemente, alterando com maior rapidez a paisagem. Essa situação provoca a necessidade de atualizações de informações cartográficas entre períodos de tempo cada vez menores. Dessa maneira, além de fontes de dados adequados para a obtenção de novas informações, é necessário que haja processos mais rápidos e de menor custo para aquisição e utilização de informações espaciais.

Nesse contexto, a Fotogrametria tem sido responsável, com raras exceções, pela produção das bases cartográficas e, assim, tem contribuído significativamente no processo de mapeamento. Com o desenvolvimento da informática e da tecnologia, a Fotogrametria tem sofrido muitas inovações, dentre as quais pode se destacar a coleta e processamento das imagens. Essas inovações podem ser percebidas com a disponibilidade das câmaras digitais e "scanners", além do aumento da capacidade de processamento e armazenamento de dados dos computadores. Concomitantemente, as operações fotogramétricas têm sido agilizadas, otimizadas e automatizadas, diminuindo-se os custos e melhorando os resultados. Assim, os processos fotogramétricos realizados no computador, inserem-se na área denominado de Fotogrametria Digital, a qual vem, rapidamente, tomando o lugar da fotogrametria convencional.

Como contribuição ao aprimoramento da Fotogrametria baseada em imagens digitais foi desenvolvida uma ferramenta que possibilita a aquisição de coordenadas de pontos de um mapa e das coordenadas de pontos correspondentes em uma imagem. Essa ferramenta é de grande utilidade nos processos de atualização cartográfica a partir de imagens pois permite obter coordenadas de mapa para alguns pontos de uma imagem. Esses dados são utilizados no processo de determinação de modelos de transformação geométrica que transportem as coordenadas da imagem para o sistema de coordenadas do mapa de interesse (Ribeiro et al (1999); Oliveira et al (1999)).

Tendo como finalidade à aquisição de dados cartográficos com custos menores que os vigentes, várias investigações com câmaras digitais, vem sendo realizadas. No entanto, estas imagens, geralmente, são tomadas com inclinações maiores (devido à impossibilidade de estabilizar a aeronave de forma adequada), do que em levantamentos aerofotogramétricos convencionais, provocando erros devido à inclinação, além dos provocados pela variação do relevo.

Assim, para diminuir o erro no mapeamento devido à inclinação pode-se utilizar imagens retificadas. Esse produto é mais adequado à atualização cartográfica devido a sua maior fidelidade geométrica.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe a solução da atualização cartográfica com imagens obtidas com câmaras digitais, implementado no sistema de atualização desenvolvido por Arruda et al (1999), utilizando como alternativa uma imagem retificada. Os resultados são discutidos e ao final do trabalho são apresentadas as conclusões e recomendações.

### 2 Atualização Cartográfica (atualização da base vetorial)

Uma das etapas da Fotogrametria Digital constitui-se na extração de coordenadas de determinados pontos nas imagens. O processo de obtenção dessas coordenadas é dependente da experiência do operador. Desta forma, é desejável que haja uma ferramenta para a coleta da posição de feições em imagens cuja precisão seja maior ou igual de um operador.

O sistema, desenvolvido por Arruda et al (1999) conta com duas telas de visualização, uma para imagem (matricial) e outra para o mapa vetorial. Nas duas telas, o operador realiza uma identificação aproximada da feição de interesse, delimitando uma janela de busca com o cursor. Definida a região de busca, o ponto de interseção é obtido automaticamente. A figura 01 mostra as operações que podem ser realizadas para atualização do mapa.

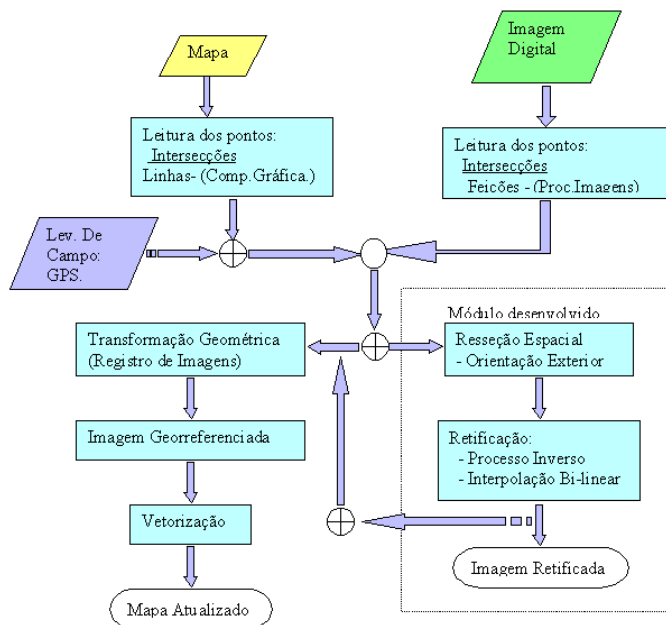


Fig. 1: Fluxograma das operações implementadas no programa de atualização cartográfica.

Para determinar a posição de uma interseção de linhas *retas* em um mapa é necessário delimitar uma região de busca com base nas coordenadas de uma janela. Essa janela delimitadora é definida por meio de comandos enviados de um mouse, considerando a posição do cursor sobre a área de visualização de um mapa. Acionando o botão esquerdo o sistema fornece as coordenadas do canto superior esquerdo da janela delimitadora. Arrastando o cursor sobre o mapa com o botão acionado, define-se a janela. As coordenadas do canto inferior direito são fornecidas quando o botão esquerdo do mouse é solto. Desta forma uma janela é desenhada e uma região de busca é definida. O ponto de interseção de duas retas é determinado a partir das equações dessas retas.

O processo para a construção da janela de recorte da imagem é semelhante ao processo realizado para o mapa. Entretanto, neste caso a janela recorta um pedaço quadrado e impar da imagem, devido às características do algoritmo de busca, pois há necessidade de localizar o pixel central da sub-imagem, onde são processados os cálculos para interseção de linhas.

As informações que descrevem uma cena de forma vetorial (mapa), podem ser adquiridas de arquivos padrão DXF. A visualização da cena na tela do computador é realizada utilizando-se técnicas de computação gráfica. Para tanto, adotou-se a representação por fronteiras, denominado de B-rep (*Boundary Representation*), muito utilizada na área de Computação Gráfica.

O georreferenciamento ou registro geométrico é realizado utilizando-se o processo de ajustamento para a determinação dos parâmetros de transformação. Para tanto é necessário um número mínimo de pontos homólogos identificados nas duas representações. Foram implementados três modelos de transformação (Afirm, Isogonal e Projetiva) e as suas respectivas inversas foram implementadas. Esse procedimento possibilita a visualização da imagem e mapa sobrepostos, ou seja, no mesmo sistema de coordenadas, cujo procedimento é conhecido como georreferenciamento.

No entanto, devido ao efeito da inclinação (mais acentuada nesse tipo de imagem) os erros são maiores, podendo inviabilizar o processo de atualização. Dessa forma, o presente trabalho visa implementar um módulo que utiliza imagens isentas de inclinação. Para isso, faz-se necessário à retificação da imagem inclinada.

### 3 Retificação (Módulo implementado)

Segundo WOLF (1983), retificação é o processo de fabricação de uma fotografia vertical equivalente de uma foto negativa inclinada. O produto resultante de uma foto vertical equivalente é chamado de foto retificada. Fotografias retificadas são, teoricamente, fotografias verdadeiramente verticais, e como tal elas estão livres de deslocamentos devido à inclinação.

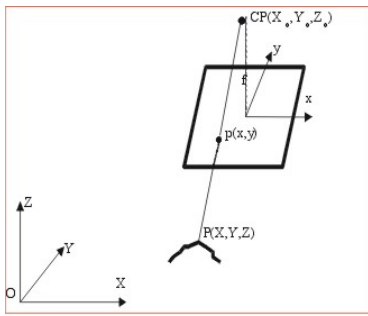
Anterior ao processo de retificação, é necessário que se realize o cálculo dos parâmetros de orientação exterior. Segundo ANDRADE (1998), a orientação exterior permite a recuperação da posição e atitude de cada foto segundo um referencial terrestre – geralmente aquele no qual se pretende realizar o trabalho fotogramétrico.

Ainda, segundo ANDRADE (1998), uma aerofoto está externamente orientada (segundo um referencial adotado), quando são conhecidas as três coordenadas  $X_0, Y_0, Z_0$  do ponto de onde foi tomada (centro perspectivo), bem como os três ângulos que definem a sua atitude. Esses ângulos, definidos como os ângulos de Euler ( $\omega, \phi$  e  $\chi$ ), representam rotações que se aplicadas ao sistema terrestre fazem-no coincidir com o fotogramétrico.

Para realização da Orientação Exterior, também chamada de Resseção Espacial para o caso de apenas uma foto, o modelo matemático utilizado é a equação de colinearidade.

Segundo LUGNANI (1987), a equação de colinearidade é o modelo matemático que relaciona espaço imagem e espaço objeto. Ela é deduzida com base na condição de que: centro perspectivo, ponto imagem e ponto objeto pertencem a uma reta, obedecendo assim ao princípio de colinearidade. Elas podem ser utilizadas tanto na forma direta quanto inversa.

A figura 2 apresenta o princípio da equação de colinearidade, no qual pode-se observar que o centro perspectivo (CP), o ponto objeto (P) e o ponto imagem (p) são colineares.



**Fig. 2:** Princípio de Colinearidade

A equação de colinearidade direta é dada por (Lugnani, 1987):

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{r_{11} * (X - X_0) + r_{12} * (Y - Y_0) + r_{13} * (Z - Z_0)}{r_{31} * (X - X_0) + r_{32} * (Y - Y_0) + r_{33} * (Z - Z_0)} \\ y &= -f \frac{r_{21} * (X - X_0) + r_{22} * (Y - Y_0) + r_{23} * (Z - Z_0)}{r_{31} * (X - X_0) + r_{32} * (Y - Y_0) + r_{33} * (Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

onde,

- $r_{ij}$ ,  $1 \leq i \leq 3$  e  $1 \leq j \leq 3$  : são os elementos da matriz de rotação R em função dos ângulos  $\kappa$ ,  $\varphi$  e  $\omega$ ,
- x e y são as coordenadas dos pontos no sistema fotogramétrico,
- f é a distância focal calibrada da câmara,
- X, Y e Z são as coordenadas do ponto no sistema de coordenadas do espaço objeto, e
- $X_0$ ,  $Y_0$  e  $Z_0$  são as coordenadas do centro perspectivo sistema de coordenadas do espaço objeto.

A matriz R é dada pela equação que segue.

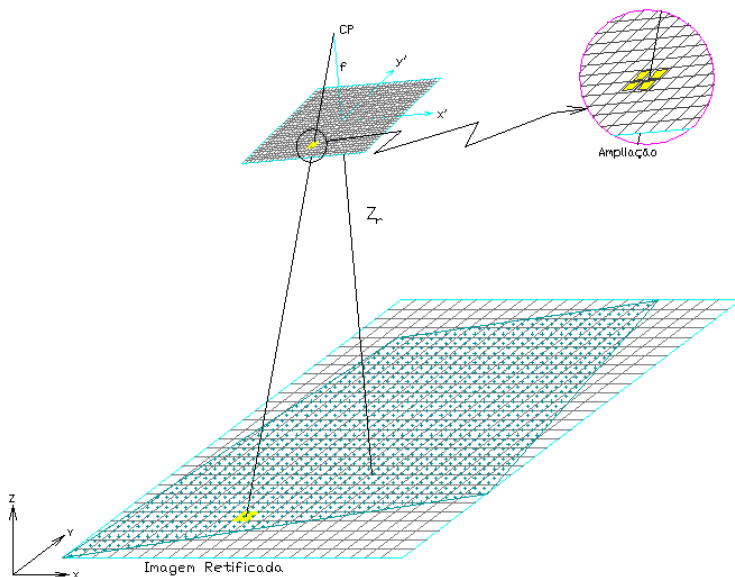
$$R = \begin{bmatrix} \cos \omega \cos \kappa & -\cos \omega \sin \kappa & \sin \omega \\ \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \omega \cos \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \omega \sin \kappa & -\sin \omega \cos \omega \\ \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \omega \cos \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \omega \sin \kappa & \cos \omega \sin \omega \end{bmatrix}$$

A resseção espacial de uma foto consiste em calcular os parâmetros de orientação exterior da câmara, a partir das:

- fotocoordenadas de n pontos;
- coordenadas de pontos correspondentes no espaço objeto;
- constante de calibração da câmara;
- valores aproximados dos elementos de orientação exterior.

Na verdade deve-se calcular correções a estes parâmetros, uma vez que já se dispõe de valores aproximados para os mesmos, segundo LUGNANI (1987).

A imagem retificada é obtida transferindo tons de cinza de uma imagem digital para uma malha fina e regular, que representa a projeção ortogonal, ou seja, em um sistema de coordenadas 3D com a coordenada Z constante. Para isso são necessários: a imagem digital da área, os valores das orientações interior e exterior. A figura 03 representa o processo de geração de uma foto retificada.



**Fig. 3:** Modelo de geração de imagem retificada.

A geração da imagem digital retificada pode ser realizada através de dois métodos: direto e indireto, de forma semelhante ao da produção de ortofoto.

O método direto consiste, inicialmente, em projetar os pixels da imagem de entrada para a retificada aplicando-se as correções de erros sistemáticos nas equação de colinearidade inversa (equação 02).

$$\begin{aligned}
 X &= X_o - \frac{r_{11}x_p + r_{12}y_p - r_{13}f}{r_{11}x_p + r_{12}y_p - r_{13}f} (Z - Z_o) \\
 Y &= Y_o - \frac{r_{21}x_p + r_{22}y_p - r_{23}f}{r_{11}x_p + r_{12}y_p - r_{13}f} (Z - Z_o)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Analogamente a ortofoto, pode-se, identificar três etapas no método direto, ALMEIDA (1989):  
 a) transformação do referencial da imagem digital para o referencial fotogramétrico;  
 b) transformação do referencial fotogramétrico para o referencial da imagem retificada;  
 c) reamostragem da malha da imagem retificada.

Já o método indireto consiste, inicialmente, em projetar os pixels da imagem retificada para a imagem digital, através da equação de colinearidade direta, e um processo "inverso" de correção de erros sistemáticos. Em outras palavras, é necessário introduzir todos os erros sistemáticos para encontrar, na imagem bruta de entrada, a posição correta do ponto projetado.

Entretanto, é usual realizar na prática apenas a transformação do referencial fotogramétrico para o fiducial (translação do ponto principal), e deste para o digital (Coluna e Linha) utilizando-se da transformação afim. Posteriormente, é necessário aplicar algum método de interpolação de tons de cinza.

Este método é, portanto, composto por três etapas:

- 1) transformação de pixels do referencial da imagem retificada para o referencial fotográfico;
- 2) transformação do referencial fotográfico para o referencial da imagem digital;
- 3) reamostragem radiométrica.

O método indireto realiza, em relação ao método direto, um processo inverso para transferência dos tons de cinza da imagem de entrada para a imagem retificada. Nesse trabalho foi implementado o método indireto de geração da ortofoto.

#### 4 Protótipo implementado

Esse protótipo foi construído de maneira a facilitar a manipulação e evitar procedimentos inoportunos pelo operador, para isso algumas funções são habilitadas e desabilitadas mediante etapa do processo em que se encontra.

A tela principal do programa é composta por duas janelas maiores, onde são mostradas imagem e mapa, Figura 4.

#### 5 Experimentos

Para verificar o comportamento geométrico das imagens inclinadas, foram realizados alguns experimentos:

1. experimentos com imagem obtida em laboratório, proporcionando melhor controle dos pontos; e
2. experimentos com imagem aérea de uma área com mapeamento existente.

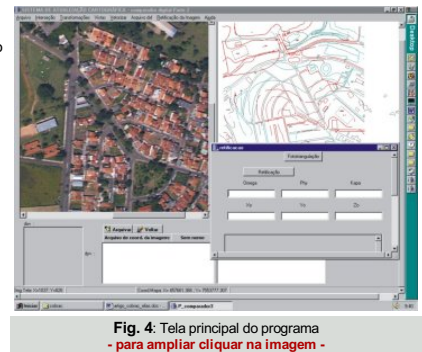


Fig. 4: Tela principal do programa - para ampliar clicar na imagem -

##### 5.1 Experimento com imagem de uma placa de aço (laboratório)

Nesse experimento foi utilizado como campo de testes uma placa de aço com 88 pontos de apoio, distribuídos em um arranjo matricial com espaçamento de 100 mm entre eles.

Obteve-se uma imagem com a câmara, Kodak DC-210 (1152x864 pixels) de distância focal de 52,89 mm, inclinada. A figura 5 (a) é a imagem da placa de aço inclinada e a figura 5 (b) é a imagem da placa retificada.

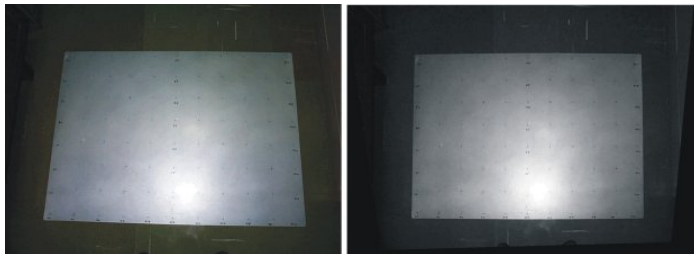


Fig. 5: (a) - Imagem inclinada da placa de aço; (b) - Imagem retificada da placa de aço.

Para avaliar a qualidade do processo de retificação da imagem na determinação das coordenadas que retratem as feições do mundo real, de maneira mais acurada, foi utilizado o seguinte procedimento, nas duas imagens (inclinada e retificada):

1. Observou-se coordenadas de 5 pontos na imagem, utilizada como pontos de apoio, para determinar os parâmetros da transformação Afim.
2. foi aplicada a transformação inversa em 20 pontos da placa, das quais foram medidos na imagem.

A partir dos resultados obtidos, foram determinadas as diferenças, ponto a ponto, entre as coordenadas da placa (um sistema 3D foi arbitrado nos pontos da placa) e a obtida pelo método proposto. A tabela 01 resume, para cada experimento, os valores médios e os desvios-padrão dos erros para as coordenadas planimétricas (X e Y).

Tabela 01: Médias, variâncias e Desvios-padrão dos erros das coordenadas nos testes realizados nas imagens da placa de aço.

Imagem Valores	Inclinada	retificada
Média em x (mm)	-0,887	-0,473
Média em y (mm)	5,512	0,610
Variância em x (mm <sup>2</sup> )	369,123	10,796
Variância em y (mm <sup>2</sup> )	93,405	4,728
Desvio Padrão em x (mm)	19,212	3,286
Desvio Padrão em y (mm)	9,665	2,174

##### 5.2 Experimento com imagem aérea

Para a validação dos resultados a partir de dados reais, coletou-se uma imagem com a câmara Kodak DC-210, com altitude de voo aproximado de 1700 metros inclinação de uma área que abrange a FCT/UNESP - Campus de Presidente Prudente, com um relevo com altitude média aproximada de 450 metros. A figura 6 (a) é a imagem da FCT/UNESP inclinada e a figura 6 (b) é a mesma imagem retificada.

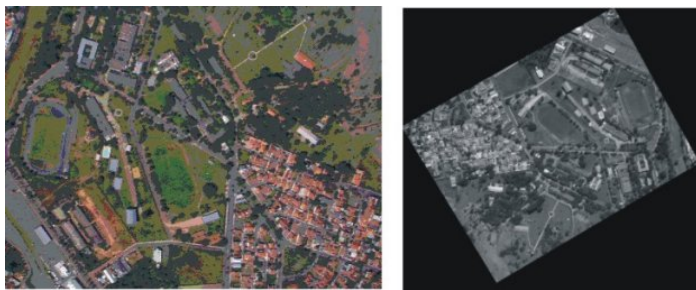


Fig. : (a) Imagem aérea (inclinada) da FCT/UNESP; (b): Imagem retificada da FCT/UNESP

Para avaliar a qualidade do processo de retificação nas imagens aéreas foi utilizada a mesma metodologia usada para a placa de aço. Os resultados estão mostrados na tabela 02.

Tabela 02 :Médias, variâncias e Desvio-padrão dos erros das coordenadas dos testes realizados nas imagens da FCT/UNESP.

Imagem Valores	Inclinada	retificada
Média em x (m)	3.287	0.884
Média em y (m)	-2.181	-0.956
Variância em x (m <sup>2</sup> )	52.885	6.653
Variância em y (m <sup>2</sup> )	7.947	6.336
Desvio Padrão em x (m)	7.272	3.285
Desvio Padrão em y (m)	2.579	2.517

## 6 Conclusão

A partir da análise dos dados obtidos tanto da placa de aço quanto da fotografia aérea da FCT/UNESP, pode-se verificar que a qualidade geométrica da imagem retificada é maior, constituindo uma fonte de dados mais adequada à atualização cartográfica.

## 7 Bibliografia

- ALMEIDA, J. *Ortofoto Digital*. Dissertação de Mestrado, Curitiba, 1989.
- ANDRADE, J. B. *Fotogrametria*. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1998.
- BALTSAVIAS, E.P. *Digital ortho-images – a powerful tool for the extraction of spatial – and geo-information*. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1996.
- BRITO, N. L. *Precision of Digital Orthoimages : Assesment and Application to the Occlusion Detection Problem*, School of the Ohio State University, 1997.
- DAL POZ, A. P.; SANTOS D. R. *Geração de ortofoto digital através de uma metodologia híbrida* In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, p. 622-628, Recife, 1999.
- ECKER, R. *Digital orthophoto generation based on a high-quality MDT*, Institute Photogrammetry and Remote Sensing, University of Tecnology Vienna, Vienna – Austria – ITC Journal – 1992.
- GALO, M., HASEGAWA, J.K., TOMMASELLI, A.M.G. *Ávaliação Geométrica de Câmaras de Video para uso em Fotogrametria Digital* XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Recife, 1999.
- GALO, M.; TOZZI, C.L. *Deteção de pontos de interesse a nível de sub-pixel*: Presidente Prudente: 1998, Trabalho em desenvolvimento
- GONZALEZ, R. C. e WOODS, R. E. *Digital Image Processing*: Second edition: U.S.A.: Addison – Wesley Publishing Company, 1992, 716p
- HOHLE, J. *Experiences with the Production of Digital Orthophotos*. Photogrametric Engineering and Remote Sensing, v. 62, n. 10, p. 1189-1194, October/1996.
- HOOD, J. *Image Processing Techniques for Digital Orthophotoquad Production*. Photogrametric Engineering and Remote Sensing, v. 55, n. 9, p. 1323-1329, September/1989.
- KRAUS, K. *PHOTOGRAMMETRY – Fundamentals and Standard Processes – Volume 1*, Ferd. Dummler's Verlag Bonn - Germany, 1993.
- LOCH, E.N. *ORTOFOTOCARTA: Produção e aplicação*. XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1987.
- LUGNANI, J. B. *Aprimoramentos para atualização cartográfica*. Curitiba, 1985. 84p. Tese de Professor Titular- Universidade Federal Paraná.
- LUGNANI, J. B. *Introdução à fototriangulação*. Curitiba, Universidade Federal Paraná, 134p (1987).
- MAAS, H.G. & KERSTEN, T. *Aerotriangulation and DEM/Orthophoto Generation from High-Resotion Still-Video Imagery* Photogrametric Engineering and Remote Sensing, v. 63, n. 9, p. 1079-1084, September/1997.
- MASCARENHAS, N. D. A. e VELASCO, F. R. D. *Processamento Digital de Imagens*: Buenos Aires: Ed. Kapelus, 1989, 272p
- MERCHANT, D.C. *Analytical Photogrammetry*. Dept. of Geodetic Science The Ohio State University, February 14, 1979.
- MOFFITT, F.H. & MIKHAIL, E.M. *PHOTOGRAMMETRY*. Harper & Row, New York – USA, 1980.
- ROGERS, David F. *Procedural Elements for Computer Graphics*: Singapore: McGraw-Hill Book Company, 1985.
- U.S. Geological Survey, *Standards for Digital Orthophotos*, National Mapping Program Technical Introduction, 1996.
- WOLF, P. R. *Elements of Photogrammetry*, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1983

## Atualização Cartográfica Baseada em Imagens Digitais Retificadas

Elias Ribeiro de Arruda Junior · Júlio Kiyoshi Hasegawa · Nilton Nobuhiro Imai

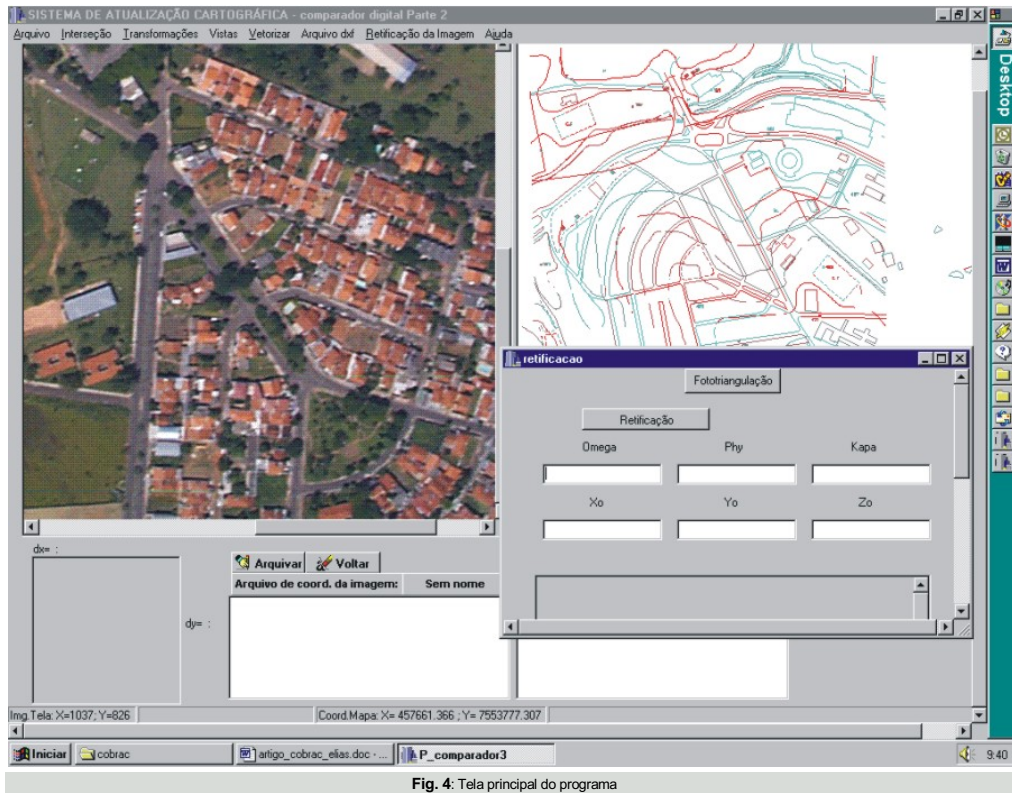


Fig. 4: Tela principal do programa