Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

A Utilização do Conceito de Geometria Epipolar em Correlação de Imagens Digitais

Aluir Porfirio Dal Poz, Mauricio Galo

Pesquisas em Geociências, 19(2): 137-142, Set./Dez., 1992.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21304>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Set./Dez., 1992.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

A Utilização do Conceito de Geometria Epipolar em Correlação de Imagens Digitais

ALUIR PORFIRIO DAL POZ E MAURICIO GALO

Faculdade de Ciências e Tecnologia UNESP, R. Roberto Simonsen, 305, CEP 19060-080, Presidente Prudente, SP
"ueppr@BRFAPESP.BITNET"

(Recebido em 23/07/92. Aceito para publicação em 19/01/93.)

Abstract — The advent of digital photogrammetry has brought to the photogrammetrist new challenges, including the problem of identifying and measuring homologous points on digital image stereopair through a digital correlation method. This technique can be advantageously implemented according to Homologous Epipolar Lines (LEH). The aim of this paper is to do a study of a digital correlation method according to LEH, usually denoting epipolar correlation, besides presenting the principles to the determination of this LEH. The procedure, to the determination of Homologous Epipolar Lines was implemented in computer and some tests with real and artificial images have been accomplished.

RESUMO — O advento da fotogrametria digital trouxe para o fotogrametrista novos desafios, dentre os quais comparece o problema de identificar e medir pontos-homólogos sobre um estereopar de imagens digitais fazendo o uso de um método de correlação digital. Esta técnica pode ser vantajosamente implementada segundo as Linhas Epipolares Homólogas (LEH). O objetivo desse artigo é fazer a abordagem do método de correlação digital segundo as LEH, mais comumente denominado correlação epipolar, bem como apresentar os princípios para a determinação destas LEH. O procedimento para a determinação das Linhas Epipolares Homólogas apresentado foi implementado em computador e alguns testes com imagens artificiais e reais foram realizados.

INTRODUÇÃO

A fotogrametria, a poucas décadas atrás, evoluiu da fase analógica para a analítica, na qual os equipamentos óticos, mecânico ou ótico-mecânico deram lugar a equipamentos e técnicas analíticas onde a participação humana é menor e o desenvolvimento de equipamentos analíticos e procedimentos matemáticos ganham impulso. Hoje em dia, prepara-se para adentrar na fase da fotogrametria digital, e os procedimentos matemáticos deverão se sobressair ainda mais, com apoio da eletrônica e da informática.

A fotogrametria digital baseia-se na utilização de fotografias armazenadas digitalmente. Estas imagens podem ser consideradas como uma função bidimensional de tons de cinza, podendo ser obtidas basicamente de duas formas: 1) através de sensores digitais como as câmaras CCD ou 2) através de um processo de digitalização a partir de imagens analógicas.

A substituição das fotografias analógicas por imagens digitais trouxe, para o fotogrametrista, uma série de vantagens e por outro lado, alguns problemas. As tarefas antes realizadas por um operador humano sobre um estereopar de fotografias, em instrumentos fotogramétricos, agora devem ser realizadas sobre um produto digital e em ambiente completamente computacional. Em outras palavras, operações trivialmente realizadas pelo Homem, como reconhecimento de padrões e identificação de pontos homólogos, tem que ser efetuadas, agora, através de técnicas de processamento de imagens digitais.

Os modelos fotogramétricos utilizados para a transformação de pontos imagem nos seus respectivos pon-

tos objeto baseiam-se, inicialmente, na identificação e medição das coordenadas de pontos homólogos presentes num estereopar de imagens. Quando são usadas fotografias analógicas pode-se, por exemplo, utilizar instrumentos comparadores. Por outro lado, para os produtos digitais, requer-se uma técnica de processamento de imagens digitais, denominada correlação digital, para a identificação e medição automática de pontos homólogos sobre o estereopar, evitando assim os erros provenientes do operador.

De uma forma geral, dado um ponto sobre uma imagem digital que compõe o estereopar, o problema de correlação digital consiste em procurar o ponto homólogo sobre a outra imagem. Essa procura pode ser unidimensional ou bidimensional. No caso unidimensional, será denominado correlação digital-1D e, para o segundo caso, correlação digital-2D.

A correlação digital-1D apresenta uma série de vantagens sobre a correlação digital 2-D, podendo-se destacar sua maior rapidez, confiabilidade e acurácia.

Os métodos de correlação digital-1D necessitam do conhecimento prévio das chamadas Linhas Epipolares Homólogas (LEH). Assim sendo, o principal objetivo desse artigo é abordar um método para a determinação das Linhas Epipolares Homólogas, bem como sua implementação em computador.

O presente trabalho representa o início dos esforços dos autores para a implementação de métodos de correlação digital, incluindo o método de correlação por mínimos quadrados (LSM), dentre outros, visando num futuro não muito distante, o desenvolvimento de um sistema fotogramétrico digital pelo grupo de Fotogrametria do Departamento de Cartografia da UNESP/FCT.

Princípio da Correlação Digital

Previamente à execução da correlação digital é necessário que seja definida sobre uma das imagens, uma janela que contenha o alvo de interesse a ser correlacionado (janela alvo). Analogamente deve ser definida uma janela, na outra imagem, e esta deve conter o mesmo alvo (janela de pesquisa).

Figura 1 — Janela Alvo e Janela de Pesquisa.

A correlação digital permite determinar, sobre a janela de pesquisa, a posição da janela alvo pré-definida na primeira imagem.

Este processo pode ser eficientemente realizado considerando-se as seguintes etapas (Strauch, 1990):

1 - *Correlação aproximada*: nessa etapa é realizada uma primeira aproximação para o problema. Isso é feito através de funções matemáticas denominadas funções de correlação, as quais descrevem o grau de dependência linear entre as funções de tom de cinza das imagens esquerda e direita. Strauch (1990) apresenta as seguintes funções de correlação: quociente, erro, erro quadrático e covariância cruzada. Em síntese, a janela da imagem direita (pertencente à janela de pesquisa) a ser correlacionada com a janela alvo é encontrada através de um algoritmo que implementa uma função de correlação. Infelizmente, segundo Ackermann (1984), esse procedimento é apenas aproximado devido a ocorrência de fatores como:

- distorções radiométricas causadas por diferença de iluminação e degradação produzida pela atmosfera (no caso de imagens aéreas);
- distorções geométricas provocadas pelas diferenças na perspectiva na tomada das fotos e deslocamento devido ao relevo.

Este procedimento permite a determinação dos pontos de interesse, a nível do pixel.

2 - *Correlação refinada*: nessa etapa é realizado um refinamento da solução obtida no passo anterior. Aplica-se aqui a correlação por mínimos quadrados (LSM) a qual minimiza o quadrado da diferença entre as funções de tom de cinza, num estereopar de imagens digitais. Após a aplicação do LSM, é definida uma acurada relação geométrica entre a janela alvo e a janela correlacionada (pertencente à janela de pesquisa), usualmente representada matematicamente pela transformação afim no plano. Portanto, medindo-se um ponto sobre a janela alvo, seu ponto homólogo, pertencente a janela correlacionada, pode ser calculado acuradamente, levando a resultados no nível do sub-pixel.

Se a geometria epipolar for conhecida, a correlação pode ser implementada segundo as linhas epipolares homólogas, caracterizando uma pesquisa unidimensional (1D) para o casamento das janela alvo e correla-

cionada. Nesse caso diz-se que a correlação é epipolar ou 1D.

Correlação Epipolar

Em Fotogrametria as imagens/fotografias são tomadas de perspectivas distintas e com diferentes inclinações, resultando numa mudança geométrica das funções de tom de cinza que, aliadas aos problemas na aquisição da imagem, causam problemas na correlação (Strauch, 1990).

De acordo com Keating *et al.* (1975), os problemas causados pelas distorções geométricas provocadas pelas diferentes perspectivas, podem ser bastante simplificados se forem levadas em conta as configurações geométricas entre os planos imagem e o espaço-objeto, as quais podem ser encontradas utilizando-se do conceito de geometria epipolar.

Deste conceito resulta que um estereopar relativamente orientado não possui paralaxe-y ao longo das linhas epipolares homólogas, resultando somente paralaxe-x nesta direção, a qual permite a determinação das elevações. Consequentemente, pontos situados sobre as linhas epipolares da foto esquerda são encontrados nas linhas epipolares homólogas, sobre a foto direita, podendo-se utilizar uma rotina de correlação digital 1-D para a determinação de alvos.

Na correlação epipolar ou 1D pode-se distinguir três etapas básicas:

- 1 - *Determinação das linhas epipolares homólogas*: compreende a orientação relativa do estereopar, seguida da determinação propriamente dita das linhas epipolares homólogas, a partir dos parâmetros determinados na orientação relativa. Esta etapa será tratada com detalhes na seção posterior.
- 2 - *Reamostragem segundo as linhas epipolares*: o objetivo dessa etapa é fazer com que as linhas epipolares tenham as mesmas direções das linhas da imagem. Assim, o ponto homólogo sobre a imagem direita é procurado sobre uma linha apenas, facilitando a correlação.
- 3 - *Correlação*: a correlação é realizada unidimensionalmente ao longo das linhas epipolares homólogas que contém somente paralaxe-x. Conforme já explanado, primeiro é feita uma correlação aproximada seguida de uma correlação refinada, para a determinação acurada dos pontos homólogos.

DETERMINAÇÃO DAS LINHAS EPIPOLARES HOMÓLOGAS

Nesta seção serão abordadas uma breve revisão de aspectos relativos a geometria epipolar e uma descrição de um método para a determinação das linhas epipolares homólogas. A seção seguinte apresenta os resultados da implementação deste método, em computador.

Geometria Epipolar

Considerando duas imagens, tomadas de pontos de vista diferentes, pode-se imaginar que, para cada ponto do espaço objeto, um plano definido pelas duas

estações de exposição e por este ponto determina o plano epipolar. A Figura 2 ilustra esta geometria.

Figura 2 — Geometria Epipolar

Na Figura 2, o eixo epipolar, também conhecido como base aérea, é a linha que une as duas estações de exposição. Deve-se lembrar que a condição de colinearidade impõe que a estação de exposição, o ponto imagem e o correspondente ponto objeto pertençam a uma mesma reta. Assim, os pontos P, p e CE (e P, p' e CD) satisfazem a condição de colinearidade. Por definição, o plano epipolar contém o eixo epipolar, os pontos imagem p e p' e o correspondente ponto objeto P. O eixo epipolar e as retas de colinearidade definidas pelos pontos CE, p e P, e pelos pontos CD, p' e P, delimitam o plano epipolar. A intersecção do plano epipolar com os dois planos fotográficos define as Linhas Epipolares Homólogas.

Como os pontos situados sobre as linhas epipolares não possuem paralaxe-y, um ponto localizado numa linha epipolar da fotografia esquerda tem seu ponto homólogo posicionado sobre a linha epipolar homóloga da fotografia direita.

Um Método para a Determinação das Linhas Epipolares Homólogas

Antes da determinação das Linhas Epipolares Homólogas, o estereopar de imagens digitais deve ser relativamente orientado. Um procedimento para a orientação relativa do estereopar é descrito em Keating *et al.* (1975), Strauch (1990, 1991).

Inicialmente, dois grupos de pontos de passagem são selecionados em janelas próximas às regiões de Grüber (Fig. 3). Em seguida, os dois grupos de janelas são correlacionados por um algoritmo de correlação digital-2D para a determinação das coordenadas de imagem dos pontos homólogos. Por último, as coordenadas de imagem dos pontos homólogos são usadas como da-

dos de entrada para a solução analítica do problema de orientação relativa.

Figura 3 — Orientação Relativa

O procedimento para a determinação das Linhas Epipolares Homólogas descrito a seguir é baseado em Keating *et al.* (1975). Este método utiliza as equações de colinearidade direta (eqs. 1) e inversa (eqs. 2):

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

$$\begin{aligned} X &= X_0 + (Z-Z_0) \frac{m_{11}.x + m_{21}.y - m_{31}.f}{m_{13}.x + m_{23}.y - m_{33}.f} \\ Y &= Y_0 + (Z-Z_0) \frac{m_{12}.x + m_{22}.y - m_{32}.f}{m_{13}.x + m_{23}.y - m_{33}.f} \end{aligned} \quad (2)$$

onde:

- $[x \ y]^T$: fotocoordenadas de um ponto imagem p;
- $[X \ Y \ Z]^T$: coordenadas de um ponto objeto P;
- $[X_0 \ Y_0 \ Z_0]^T$: coordenadas do centro de projeção no referencial do espaço objeto;
- $m_{ij}(i,j=1,3)$, elementos da matriz de rotação entre o referencial fotogramétrico (espaço imagem) e o referencial do espaço objeto; os elementos m_{ij} são função dos elementos de atitude (ω, ϕ, κ) da câmara;

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos \phi \cos \kappa \\ m_{12} &= \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa \\ m_{13} &= \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa \\ m_{21} &= -\cos \phi \sin \kappa \\ m_{22} &= \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa \\ m_{23} &= \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa \\ m_{31} &= \sin \phi \\ m_{32} &= -\sin \omega \cos \phi \\ m_{33} &= \cos \omega \cos \phi \end{aligned}$$

- f: constante da câmara.

A determinação das linhas epipolares envolve uma sequência de etapas, as quais são mostradas a seguir:

- 1 - De posse dos parâmetros de orientação relativa ($\omega, \phi, \chi, X_o, Y_o, Z_o$) da imagem esquerda; das coordenadas da imagem (x e y) de um ponto a ; e de uma elevação Z_1 arbitrada do ponto objeto A_1 , calcular através das equações de colinearidade inversa (2) as coordenadas planimétricas (X_{a1} e Y_{a1}) do ponto objeto A_1 . Arbitrar uma nova elevação Z_2 e repetir a operação anterior, agora para obter as coordenadas planimétricas (X_{a2} e Y_{a2}) do ponto objeto A_2 .
- 2 - De posse dos parâmetros de orientação relativa ($\omega, \phi, \chi, X_o, Y_o, Z_o$) da imagem direita e das coordenadas dos pontos objeto A_1 e A_2 , calcular através das equações de colinearidade direta (1), as coordenadas de imagem dos pontos imagem a_1' e a_2' . Estes pontos definem a linha epipolar homóloga à linha epipolar pertencente à imagem esquerda e que contém a .
- 3 - Para completar a descrição da linha epipolar da imagem esquerda que contém o ponto imagem a , faz-se necessário determinar um outro ponto imagem b . De posse dos parâmetros de orientação relativa ($\omega, \phi, \chi, X_o, Y_o, Z_o$) da imagem direita, das coordenadas (x e y) do ponto imagem a_2' e da elevação Z_1 já arbitrada, calcular através das equações de colinearidade inversa (2), as coordenadas planimétricas (X_b e Y_b) do ponto objeto B . Utilizando-se agora os parâmetros de orientação da imagem esquerda e das coordenadas do ponto objeto B , calcular através das equações de colinearidade direta (1), as coordenadas de imagem do ponto b .

Assim, se um ponto imagem qualquer for tomado sobre a linha epipolar definida pelos pontos imagem a e b , seu ponto homólogo será encontrado sobre a linha epipolar homóloga definida pelos pontos imagem a_1' e a_2' .

A Figura 4 ilustra o procedimento descrito anteriormente.

Figura 4 — Determinação das Linhas Epipolares Homólogas.

IMPLEMENTAÇÃO E TESTES

Com base no exposto anteriormente, foi desenvolvido um programa em linguagem FORTRAN que permite o cálculo das direções das Linhas Epipolares Homólogas.

Foram feitos basicamente dois tipos de testes, o primeiro deles com dados simulados e o segundo com dados reais. O teste com dados simulados foi realizado com a finalidade de mostrar o comportamento das linhas epipolares para alguns pontos de uma imagem, e também o comportamento das mesmas em função dos elementos de orientação das câmaras. O teste com dados reais teve o propósito de fazer uma verificação da localização dos pontos homólogos sobre as linhas epipolares homólogas.

Testes com Dados Simulados

Para este processamento foram simuladas diversas imagens, com diferentes elementos de orientação, a fim de se verificar o comportamento das linhas epipolares para algumas combinações. A tabela 01 mostra os elementos de orientação e as posições das imagens simuladas.

Como pode-se observar, a imagem 2a apresenta o eixo ótico paralelo ao da imagem 1, com os elementos de orientação iguais. As imagens 2a, 2b e 2c apresentam rotações diferentes de zero em κ , ϕ e ω , respectivamente, enquanto que nas subseqüentes, foram inseridas translações em X (imagem 2e), Y (2f) e Z (2g). Finalmente, a imagem 2h apresenta a influência conjunta dos elementos κ , ϕ , ω , X , Y e Z .

Imagem	f(mm)	$\chi(^{\circ})$	$\phi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	152,240	00	00	00	4000,000	5000,000	1500,000
2a	152,240	00	00	00	5000,000	5000,000	1500,000
2b	152,240	10	00	00	5000,000	5000,000	1500,000
2c	152,240	00	10	00	5000,000	5000,000	1500,000
2d	152,240	00	00	10	5000,000	5000,000	1500,000
2e	152,240	00	00	00	5100,000	5000,000	1500,000
2f	152,240	00	00	00	5000,000	5100,000	1500,000
2g	152,240	00	00	00	5000,000	5000,000	1600,000
2h	152,240	10	10	10	5000,000	5100,000	1600,000

Tabela 1 — Posição e Orientação das Imagens Simuladas.

A determinação das linhas epipolares foi feita para alguns pontos da imagem, e os modelos formados utilizaram as imagens da Tabela 1, onde a imagem 1 foi combinada com as demais, formando-se assim 8 modelos. A primeira combinação (1-2a) mostra um caso ideal, onde as imagens são perfeitamente paralelas. Os três modelos seguintes (1-2b, 1-2c, 1-2d), já mostram as influências das orientações, enquanto nas combinações (1-2e, 1-2f, 1-2g), são mostradas as influências das translações. Por fim, o modelo formado pela combinação das imagens (1-2h) mostra um caso mais geral onde se verifica todas as influências conjuntas.

A Figura 5 ilustra, para cada uma dessas combinações, as direções das linhas epipolares homólogas.

Cada um dos elementos provoca um comporta-

mento diferente das linhas epipolares. O importante é notar que as configurações que provocam o não paralelismo das linhas epipolares devem ser evitadas. Desse modo, os ângulos ϕ e translações em Z devem ser minimizados no instante de tomada das imagens.

Figura 5 — Direções das linhas epipolares homólogas. a) imagens (1-2a), imagens em situação ideal; b) imagens (1-2b), influência de ϕ ; c) imagens (1-2c), influência de ω ; d) imagens (1-2d), influência de ω ; e) imagens (1-2e), influência de uma translação em X; f) imagens (1-2f), influência de translação em Y; g) imagens (1-2g), influência de uma translação em Z; h) imagens (1-2h), mostrando a influência de todos os elementos.

Testes com Dados Reais

Para a realização de testes com dados reais foram utilizadas duas imagens lidas no STECOMETER, do Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto da FCT, que possibilitou fotocoordenadas com precisão da ordem de 0,005mm.

Considerou-se 10 pontos, e foram calculadas as distâncias entre cada um dos pontos da imagem direita até a linha epipolar na qual o ponto deve estar supostamente localizado.

A Tabela 2 mostra os elementos de orientação, obtidos via fototriangulação por feixe de raios, das imagens utilizadas para o teste com dados reais.

Elementos de Orientação	Imagem 1(esq.)	Imagem 2(dir.)
χ (graus)	46,4208230	45,9200580
ϕ (graus)	-0,4924170	0,2406020
ω (graus)	-0,4248825	-0,0487529
X_0 (m)	-57154,610	-56680,260
Y_0 (m)	239799,800	240294,600
Z_0 (m)	1669,269	1667,976

Distância focal (mm) = 74,330

Tabela 2 — Elementos de orientação das imagens reais.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados obtidos neste teste.

A partir da observação da Tabela 3 verifica-se que as distâncias entre os pontos imagem observados e as

linhas epipolares onde os pontos deveriam estar, variam de 0,002mm a 0,022mm, tendo como valor médio 0,0087mm. Estas discrepâncias são perfeitamente esperadas, uma vez que os efeitos sistemáticos inerentes a câmara não foram corrigidos. Além disto devem ser considerados outros tipos de erros, tais como: os erros aleatórios inerentes às observações, e eventuais erros nos elementos de orientação da câmara e na posição dos centros perspectivos.

Pontos Observados	Coordenadas x e y na imagem esq.(mm)		Coordenadas x e y na imagem dir.(mm)		Dist. * (mm)
089	-4,407	40,095	-45,268	38,497	0,002
088	10,323	33,704	-30,606	32,343	0,008
054	35,534	39,019	-5,570	37,847	0,019
055	48,690	20,573	7,795	19,725	0,005
090	-1,657	22,153	-42,428	20,797	0,004
118	-5,116	-0,668	-45,763	-1,937	0,003
091	13,625	11,799	-27,145	10,669	0,005
092	27,529	2,493	-13,169	1,510	0,005
116	38,671	-19,016	-1,595	-19,985	0,014
120	25,893	-26,641	-14,484	-27,772	0,022

Tabela 3 — Coordenadas dos pontos homólogos e distância à linha epipolar.

* Distância entre o ponto observado na imagem direita, até a linha epipolar determinada a partir do ponto homólogo observado na imagem esquerda.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve o propósito de abordar a determinação de Linhas Epipolares Homólogas e, além disto mostrar a importância do conhecimento da geometria epipolar em algumas técnicas de correlação, principalmente a correlação epipolar.

Limitou-se aqui, a fazer uma explanação teórica do procedimento de correlação e da determinação de linhas epipolares bem como a aplicação desta técnica em imagens simuladas e reais. Em termos de Fotogrametria digital, o tema abordado é de fundamental importância, assim como a calibração de câmaras digitais, o estudo do tamanho ideal de janelas para correlação, a aplicação de filtragens nas imagens, o estudo da eficiência de funções de correlação e uma série de outros tópicos que podem e que com certeza contribuem para a automação do processo fotogramétrico, em ambientes digitais.

Agradecimentos — Os autores agradecem ao Engenheiro Cartógrafo Júlio K. Hasegawa pela concessão das observações para os testes com os dados reais e à Engenheira Maria de Lourdes Bueno Trindade pela leitura crítica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackermann, F. 1984. High Precision Digital Image Correlation. *Proceedings*, 39 Photogrammetric Week, Stuttgart, p. 231-243.
 Keating, T. J.; Wolf, P. R. & Scarpace, F. L. 1975. An Improved Method of Digital Image Correlation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 51 (8): 993-1002.

- Lugnani, J. B. 1987. Introdução à Fototriangulação. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 134 p.
- Rosenholm, D. 1986. Accuracy Improvement of Digital Matching for Evaluation of Digital Terrain Models. Invited Paper. *International Archives of Photogrammetry*, Comissão III, XXVI: 573-587.
- _____. 1987. Empirical Investigation of Optimal Window Size Using the Least Square Image Matching Method. *Photogrammetria (PRS)*.

42: 113-125.

- Strauch, J. C. M. 1990. *Correlação Aplicada à Fotogrametria*. Seminário apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- _____. *Correlação de Imagens Digitais*. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Dissertação de Mestrado. 77p.