

Mapeamento fotogramétrico da cobertura do solo do Alto da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio – 1978 e 2008

Júlio Kiyoshi Hasegawa
Monica Modesta Santos Decanini
Maurício Galo
Antonio Maria Garcia Tommaselli
César Francisco de Paula
Aline Bernardes Moreira
Eric Rafael Pereira de Sousa

Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
{hasegawa, monca, tomaseli, galo}@fct.unesp.br

Abstract. This paper aims to present the map design and production of temporal maps of the Alto da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio, located in Presidente Prudente municipality, São Paulo State, based on aerial images from two years: 1978 and 2008. The mapping was done by photogrammetric method in the LPS – *Leica Photogrammetric Suite*. The land cover thematic maps were produced in the *Arcgis* 9.3. These maps were used to compare the land cover change along 30 years. A quantitative analysis was performed in the GIS environment.

Palavras-chave: Phototriangulation, photogrammetric mapping, cartographic design, temporal analysis, GIS.

1 INTRODUÇÃO

O Alto da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio localiza-se no oeste do Estado de São Paulo, compreendendo uma área de aproximadamente 2000 km², abrangendo centros urbanos, como as cidades de Presidente Prudente, Presidente Bernardes, Santo Anastácio, Presidente Venceslau e Presidente Epitácio (ETCHEBEHERE et al., 2006).

Segundo Martin (2010), a ocupação na região do rio Santo Anastácio foi mais intensa na metade do século XX. Neste período fazendeiros e o Estado organizaram expedições para a exploração da região, visando o reconhecimento de florestas e também com o intuito de avançar o plantio de café. Etchebehere et al. (2006), em seu estudo realizado sobre a região, diz que a viabilidade do cultivo de café no oeste do Estado de São Paulo ocasionou um processo de desmatamento generalizado e, com o passar do tempo ocasionou um esgotamento do solo abrindo espaço para o setor agropastoril.

Esta ocupação inadequada ocasionou um dos maiores quadros erosivos de todo Estado (MARTIN, 2010; GUEDES et al, 2010) e, atualmente na região, encontram-se atividades no setor agropecuário voltado a produção sucroalcooleira e, tem-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio apresenta uma grande importância para a região, principalmente para a cidade de Presidente Prudente a qual é responsável por 75% do abastecimento de água.

Baseado neste contexto, surge a necessidade de se realizar estudos na região da Bacia Hidrográfica a fim de verificar as mudanças ocorridas com a ocupação do solo ao longo do tempo e, para realizar este estudo tem-se como fundamental a utilização da Cartografia como ferramenta para o seu desenvolvimento, uma vez que esta ciência é uma forma eficiente para a transmissão de informações, tornando-se fundamental no processo de planejamento e apoio às tomadas de decisões.

Deste modo, o propósito deste trabalho é a produção de cartas temáticas da cobertura do solo da região do Alto da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio, a partir de imagens aéreas, considerando duas épocas, 1978 e 2008 e, a partir destes produtos, realizar uma

análise quantitativa das classes temáticas definidas no projeto cartográfico, a fim de evidenciar as mudanças ocorridas ao longo do tempo.

2 PROJETO CARTOGRÁFICO DA COBERTURA DO SOLO DO ALTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANASTÁCIO

O projeto cartográfico é um processo que tem como finalidade determinar um conjunto de variáveis interdependentes (KEATES, 1989, DECANINI e IMAI, 2001), o qual envolve a seleção da área a ser mapeada, a escala do mapeamento, o sistema de coordenadas, o formato de apresentação do produto final e a definição das classes de informação geográfica e suas características (nível de medida do atributo e dimensão espacial do fenômeno geográfico na escala a ser representada).

A área geográfica de estudo corresponde ao Alto da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio, localizada no município de Presidente Prudente-SP.(Figura 1).

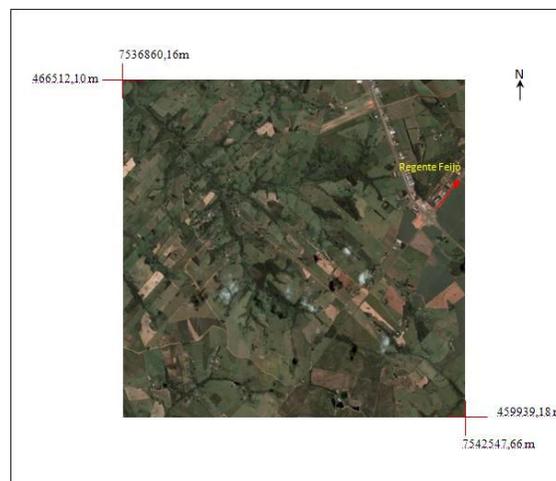


Figura 1. Localização da área de estudo.

A escala do produto final foi selecionada com base nas escalas utilizadas para geração dos mapas temáticos nos projetos do Comitê de Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema. Foi especificada a escala 1/10.000, a qual seria suficiente para representar as classes de cobertura do solo requeridas, bem como permitir as análises temporais geoespaciais, como por exemplo, responder questões sobre se houve evolução no desmatamento na região do Alto da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio.

Com a área de estudo selecionada, analisou-se a relevância das informações visíveis nas imagens disponíveis dos anos de 1978 e 2008 e, baseando-se nas categorias do Decreto nº 6.666 de 27 de novembro de 2008, que trata da Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), definiu-se as informações geográficas a serem representadas, organizando-as em classes e sub-classes, determinando também os domínios, a geometria de representação (ponto, linha ou polígono) e seus níveis de medida (qualitativo (\neq) ou ordenativo (O)), conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1. Organização das classes a serem restituídas.

Classe de Feição	Sub-Classe	Domínio	Geometria	Nível de Medida	Variável Visual
Vegetação	Pastagem		Polígono	≠	Cor Matiz
	Mata				
	Cultura				
	Solo Exposto				
Hidrografia	Lago		Polígono	≠	Cor Matiz
	Rio	<nome de rio>	Linha		
Via	Estrada		Linha	0	Espaçamento/Cor Matiz/Forma
	Rodovia	<nome de rodovia>	Linha		
	Caminho		Linha		
Edificação	Imóvel		Polígono	≠	Cor Matiz

O sistema de referência adotado foi o SIRGAS 2000, que atualmente é indicado pelo SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) e, como sistema de projeção, optou-se pelo sistema UTM (*Universal Transversal of Mercator*) com meridiano central 51° W e fuso 22 S, por ser o sistema utilizado no mapeamento sistemático do país.

3 PRODUÇÃO DOS MAPAS TEMÁTICOS

A produção dos mapas temáticos de cobertura do solo do alto da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio para os anos 1978 e 2008 envolveu 4 etapas: planejamento e levantamento dos pontos de apoio; fototriangulação e restituição (ambos no sistema LPS); e geração dos mapas no *ArcGis 9.3*.

3.1 Planejamento, coleta e processamento dos pontos de apoio

O planejamento, coleta e processamento dos pontos de apoio foram realizados para o bloco de imagens do ano de 2008, obtidas a partir de uma câmara digital Hasselblad H3D-39 pela empresa Engemap. Estas imagens possuem GSD de aproximadamente 25 cm, cujos centros perspectivos foram determinados no instante da sua aquisição (com o GPS de dupla frequência embarcado). As posições dos centros perspectivos foram obtidas com uma precisão da ordem de 0,2 m, o que possibilitou a redução na quantidade de pontos de apoio. O bloco original é composto por 578 imagens, sendo planejada a coleta de 59 pontos de apoio distribuídos ao longo de quatro faixas longitudinais, denominadas de A, B, C e D, conforme ilustra a Figura 2.

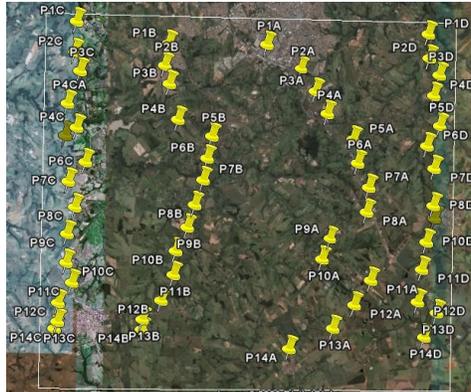


Figura 2. Planejamento dos pontos de apoio a serem coletados.

Para a coleta de pontos de apoio utilizou-se um receptor GPS de dupla frequência, modelo Topcon Hipper GGD, cujos dados foram processados no software Trimble Geomatics Office (TGO).

Uma vez realizado o processamento dos dados utilizou-se o software MAPGEO 2004 (IBGE, 2010) que foi utilizado para a obtenção dos valores de ondulação geoidal na região e a determinação das altitudes ortométricas a partir das altitudes geométricas obtidas pelo GPS.

3.2 Fototriangulação

As fototriangulações dos dois conjuntos de imagens disponíveis foram realizadas no software LPS. Inicialmente, para as duas épocas, foram configuradas informações importantes para o desenvolvimento do projeto tais como sistema de projeção, sistema de referência, etc. Nas seções “a” e “b” são descritos os procedimentos adotados na orientação das imagens, para as duas épocas.

a. Bloco de 2008

De acordo com as informações fornecidas pela empresa Engemap, relativas à câmara Hasselblad H3D-39, os parâmetros de orientação interior são: distância focal de 50,1922mm; posição do ponto principal $(x_0, y_0) = (0,3360\text{mm}; 0,2384\text{mm})$; e coeficientes da distorção radial simétrica $k_1 = -2,8726 \times 10^{-5} \text{mm}^{-2}$; e $k_2 = 1,5060 \times 10^{-85} \text{mm}^{-4}$.

Foram utilizados 25 pontos de apoio para fototriangular este bloco de imagens e seis pontos como pontos de verificação para o controle de qualidade. A configuração final do bloco contendo os pontos de controle e de verificação pode visto pela Figura 3a.

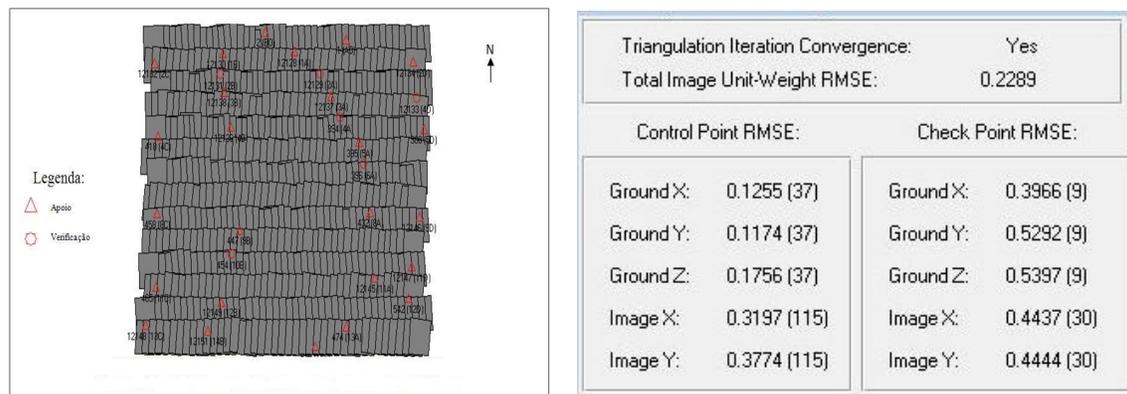


Figura 3. a) Pontos de controle e verificação no bloco; b) Relatório da fototriangulação.

De acordo com o resultado da fototriangulação apresentado pela Figura 3b, pode-se evidenciar um erro médio quadrático nos resíduos das observações de 0,23 pixels. Para o conjunto dos pontos de controle, verifica-se que a componente X apresenta-se com maior erro, sendo igual a 0,17 m, enquanto que para os pontos de verificação, a componente Z apresenta o maior valor de erro, sendo igual a 0,54 m.

b. Bloco de 1978

Nesse caso, foram utilizados um conjunto de 8 imagens aéreas analógicas adquiridas na escala 1/20.000, que foram e digitalizadas (Aerocarta S. A.) com resolução de 20 cm. Devido ao desconhecimento do certificado de calibração da câmara os elementos de orientação interior foram considerados nulos e com base em certificados de calibração de câmaras do mesmo formato foram estabelecidas (estimadas) as coordenadas das marcas fiduciais calibradas. Desta forma, os valores adotados para as marcas fiduciais foram (+/- 106,00mm) para as coordenadas x e y.

Devido as dificuldades de encontrar pontos de apoio para serem utilizados na fototriangulação desse bloco, em função da grande variação temporal entre a aquisição das imagens e o levantamento de campo, optou-se por determiná-los diretamente do bloco de imagens de 2008, já fototriangulado. Essa solução foi adotada, considerando que esses pontos foram fototriangulados (no bloco de 2008) com precisão de 54 cm (Figura 3b) e pela escala (1/10000) do produto final a ser gerado.

A Figura 4a ilustra o bloco com as oito imagens do ano de 1978 e também a disposição dos pontos de controle e verificação sobre o bloco.

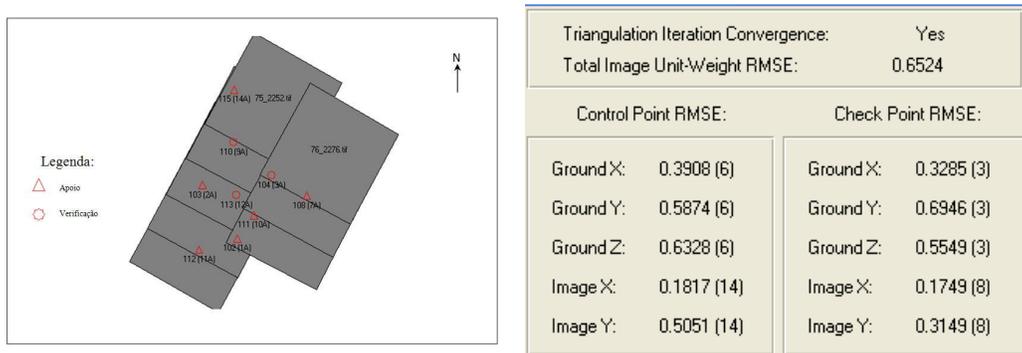


Figura 4. a) Bloco cm os pontos de controle e verificação; b) Relatório da fototriangulação.

Cabe ressaltar que a disposição e a quantidade de pontos de apoio foram limitadas pela dificuldade em encontrar feições homólogas nas imagens das duas épocas, como já mencionado. A Figura 4b apresenta uma síntese do resultado obtido para a fototriangulação deste bloco de imagens.

Através do resultado apresentado pela Figura 4b, pode-se evidenciar que o erro médio quadrático nos resíduos das observações, foi de 0,65 pixels. Nas componentes dos pontos de controle, o maior valor do erro médio quadrático foi encontrado na componente Z, sendo o seu valor igual a 0,63 m. Nos pontos de verificação, o maior valor do erro médio quadrático ocorreu na componente Y, sendo o seu valor igual a 0,69 m.

3.3 Restituição fotogramétrica

A restituição fotogramétrica foi realizada utilizando o módulo PRO600 do LPS, o qual permite que as feições sejam restituídas por meio da visualização estereoscópica.

Durante este procedimento notou-se a existência de classes que apresentavam algumas feições em comum, como por exemplo, os limites adjacentes entre as classes, solo exposto e

mata. Sendo assim, para reduzir o tempo gasto na edição no *ArcGis*, estas regiões foram restituídas conjuntamente, utilizando a ferramenta *attachment reference*.

O fechamento dos polígonos e a continuidade das linhas também foram atentamente verificados durante a restituição, de maneira que a importação dos dados para o *ArcGis* fosse realizada corretamente e os processos de edições minimizados.

3.4 Geração dos mapas temáticos no *ArcGis*

Toda produção cartográfica foi realizada no software *ArcGis 9.3* e, antes de criar o banco de dados, realizou-se um planejamento do mesmo, por meio do dicionários de dados, no qual definiu-se *Feature Dataset*, *Feature Class*, geometria das feições, os campos (*Fields*) a serem criados para armazenar os atributos associados.

No *ArcCatalog* (gerenciador de banco de dados do *ArcGIS*) criou-se o *geodatabase* do projeto com o nome *BD_sto_anastacio*. Na seqüência criou-se as *Feature Dataset* com suas respectivas *Feature Class*, de acordo com o dicionário de dados (Figura 5). Na *Feature Dataset* configurou-se o sistema de coordenadas e o sistema de referência.

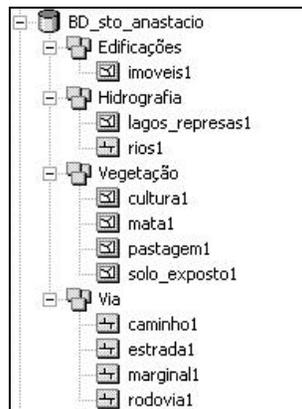


Figura 5. Estrutura do banco de dados geográfico.

Uma vez estruturado o banco de dados, realizou-se a conversão das informações (base cartográfica), que se encontram no formato CAD, para o formato SIG. Após a realização da conversão dos dados, verificou-se a consistência dos dados. Durante esta fase foram realizadas as edições necessárias, dentre as quais a dissolução de nós nas linhas, fechamento de polígonos, edição topológica, etc.

Para finalizar o processo de geração dos mapas temáticos, foram definidos os símbolos cartográficos (matiz de cor, forma, espessura e tipo de linha). A última etapa na produção destes mapas foi a elaboração do *layout*, no qual estão presentes as informações marginais tais como legenda, metadados, (sistema de referência, projeção, método de mapeamento, etc.), escala gráfica e numérica, quadrícula, reticulado (somente cruzetas), sistema de referência, localização da área de estudo, e classe na qual o produto final se enquadra.

4 RESULTADOS

Os produtos gerados neste projeto foram duas cartas bidimensionais temáticas da cobertura do solo na região do Alto da Bacia do Rio Santo Anastácio para as épocas de 1978 e 2008, conforme mostra a Figura 6 (a) e (b).

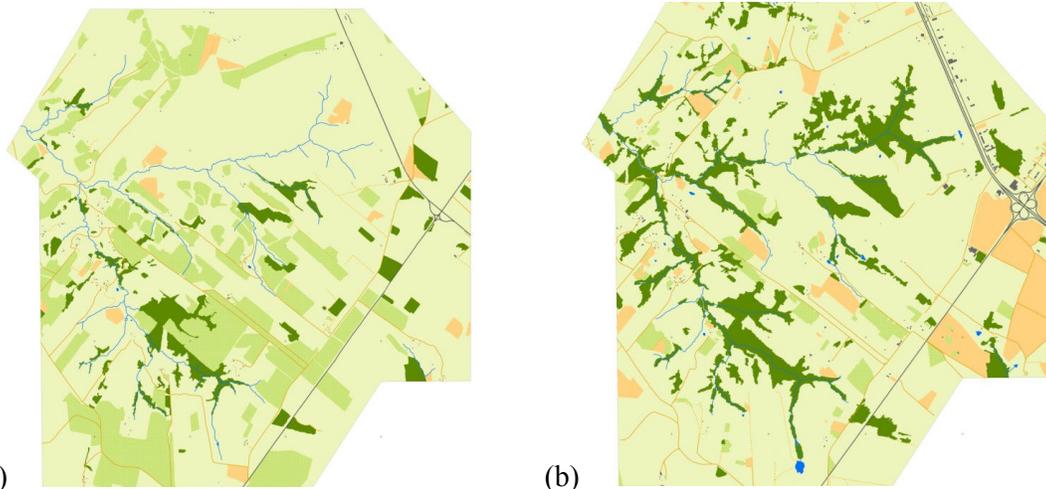


Figura 6. a) Mapa de cobertura do solo de 1978; b) Mapa de cobertura do solo de 2008.

Uma vez gerados estes produtos, realizou-se uma análise quantitativa temporal da cobertura do solo. O Gráfico 1 apresenta uma análise comparativa das alterações ocorridas nas duas épocas do mapeamento, para as feições do tipo área (zonais). Uma análise análoga foi feita para as feições lineares, cujos resultados são apresentados no Gráfico 2.

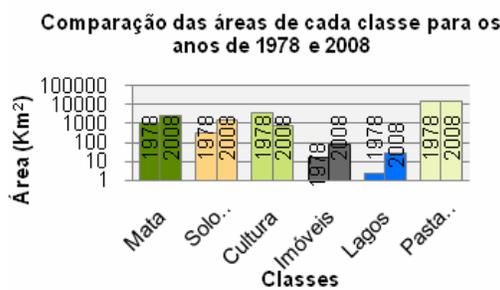


Gráfico 1: Variação de área de cada classe entre os anos de 1978 e 2008.



Gráfico 2: Variação da extensão das feições lineares entre os anos de 1978 e 2008.

Os valores em área (km^2) são apresentados, para cada classe em seu respectivo ano na Tabela 2. Os resultados mostram que decorridos 30 anos, quase todas as feições tiveram um acréscimo em sua área, exceto a classe de *cultura* que apresentou uma redução e maior variação dentro das classes analisadas. Vale ressaltar, que a área de *mata* dobrou, o que implica que houve regeneração desta classe de cobertura do solo.

Tabela 2. Comparação entre áreas de cada classe para os anos de 1978 e 2008.

CLASSE	ÁREA (Km^2)	
	1978	2008
Mata	1041,85	2481,85
Solo Exposto	345,91	1627,04
Cultura	3956,36	738,43
Imóveis	16,35	84,02
Lagos	2,23	25,36
Pastagem	15384,07	15444,16

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações geradas neste trabalho permitem realizar análises geoespaciais e temporais como, por exemplo, quantificar a cobertura do solo nas diferentes épocas da área mapeada e assim subsidiar os usuários no sentido de planejar de modo racional o uso do solo.

A geração de base de dados em ambientes do tipo SIG, mesmo que gerados a partir de diferentes fontes de dados, com diferentes resoluções espacial e espectral permitem a realização de análises temporais e a obtenção de informações importantes. A disponibilização destas informações aliadas à versatilidade dos sistemas de informações em termos de análises de dados espaciais pode ser de extrema importância para administradores, pois permite o cruzamento de informações temporais relativas a área de proteção permanente (APP) e a cobertura do solo.

Foi possível observar por meio dos resultados obtidos, que houve uma maior preservação da mata ciliar da bacia hidrográfica estudada. Entretanto, deve-se ressaltar a importância de se atualizar o banco de dados geográfico periodicamente, o que se requer a realização de mapeamentos de forma sistemática, uma vez que este procedimento é fundamental para garantir a qualidade das análises.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Aerocarta S.A. Engenharia de Aerolevanteamento, pela digitalização de alguns dos originais fotogramétricos de 1978.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. **Dispõe Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE**. Brasília, Nov. 2008.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o novo Código Florestal**. Brasília, Abr. 2008.

DECANINI, M. M. S., IMAI, N. N. Mapeamento na Bacia do Alto Paraguai: Projeto e Produção Cartográfica. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 52, 2001, p. 65 – 75.

ETCHEBEHERE, M.L.C; GUEDES, I. C.; SANTONI, G. C.; STEVAUX J. C.; MORALES, N; SAAD A. R. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do Rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. (Editorial). **Revista UnG – Geociências**, São Paulo, v.5, n.1, p. 75- 102, 2006.

GUEDES, I. C.; ETCHEBEHERE, M.L.C; MORALES, N; STEVAUX J. C.; SANTONI, G. C.; **Análise morfotectônica da bacia do rio Santo Anastácio, SP, através de parâmetros fluviomorfométricos e de registros paleossísmicos**. http://jasper.rc.unesp.br/revistageociencias/28_4/Art%2001_Guedes.pdf, acesso em: 12/11/2010

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Modelo de Ondulação Geoidal**. http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal_3.shtm, acesso em: 12/11/2010

KEATES, J. S. **Cartographic Design and Production**. 2nd ed. London: Longman, 1989.