

Utilização de dados de sensoriamento remoto para obtenção das características físicas da bacia hidrográfica do rio Piquiri - PR

Fernanda Cristina Araujo^{1,2}

Eloy Lemos de Mello^{1,3}

Bruno Bonemberguer da Silva^{1,4}

Erivelto Mercante^{1,5}

Gisele Maria Golin^{1,6}

¹ Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel/CCET/PGEAGRI
Rua Universitária, 2069 – JD. Universitário. Prédio de Desenvolvimento de Protótipos
Cascavel - PR – Cep: 85819-110

² fer.crisaraujo@yahoo.com.br; ³ eloymello@gmail.com; ⁴
bruno_bonemberger@yahoo.com.br; ⁵ eriveltomercante@yahoo.com.br; ⁶
giselemgolin@hotmail.com

Abstract. Knowledge about watershed characteristics is necessary to assist the decision making process in water resources management, improving environmental planning. Thus the purpose of this study was to use remote sensing and GIS, to perform morphometric characterization of the sub-basins of the watershed of Piquiri - Paraná. To achieve this aim, ArcGIS 10.1 software was used. A digital terrain model (DTM) elevation data was used provided by Valeriano (2004). The sub-basin was delineated using the methods available in the software. Following this, some physical parameters were calculated such as drainage area, mainstream length, slope between source and mouth of the mainstream, the basin average slope and drainage density. For validation and comparison of automatic delineation methodology with data from the area of the National Water Agency (ANA) was used: Average Error (ME), Root Mean Square Error (RMSE) and coefficient of concordance improved (dr). The methodology proved to be adequate and easy to use and can be used to study elsewhere. By analyzing the errors and the coefficient of agreement, it was concluded that the automatic delineation presented precisely compatible with the data presented by the National Water Agency, it indicates that this tool can be used for morphometric analysis of watersheds.

Palavras-chave: morphometry, watershed, automatic delineation, morfometria, bacia hidrográfica, delimitação automática.

1. Introdução

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, define a “Bacia Hidrográfica” como “unidade territorial” para a operacionalização do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Brasil, 1997). A fixação dessas unidades básicas envolve a abrangência de aplicação dos instrumentos da PNRH, tais como: enquadramento dos corpos d’água, outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Há uma grande importância em se conhecer as características físicas de uma bacia para seu completo entendimento, logo informações morfométricas são imprescindíveis. A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007).

Tradicionalmente, os atributos das bacias de drenagem são obtidos manualmente a partir de mapas e trabalhos de campo. No entanto, nas duas últimas décadas as informações hidrográficas têm sido obtidas de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de modelos hidrológicos distribuídos, que permitem maior sensibilidade das propriedades espaciais (OLIVEIRA et al., 2007).

O uso dos sistemas de informações geográficas (SIG) para o estudo da morfologia de uma unidade hidrográfica permite a confecção de diversos planos de informações do meio físico,

com rapidez, qualidade, e de forma menos dispendiosa, à medida que as informações construídas podem ser associadas com vista à obtenção de novos resultados cartográficos ou simplesmente de dados a respeito dessa área (MAGALHÃES et al., 2014).

Desta maneira o presente trabalho visou utilizar técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, para realizar a caracterização morfométrica das sub-bacias da bacia hidrográfica do Piquiri – Paraná.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia do Piquiri, um afluente do Paraná (Brasil). Está localizada inteiramente no estado do Paraná, no quadrilátero formado pelas projeções Universal Transversa de Mercator de 7,384,962.29 7,199,801.53 e norte e oeste 183,689.15 439,551.83 UTM. A bacia ocupa uma área de drenagem de 24,156 km² aproximadamente e é a terceira maior bacia hidrográfica do estado (Figura 1).

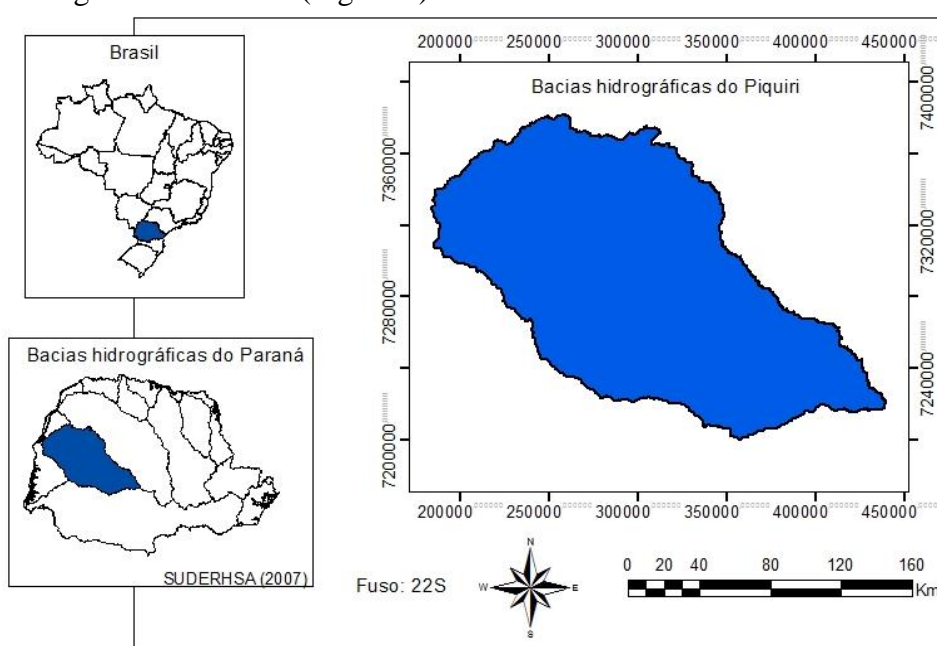


Figura 1. Localização geográfica da bacia hidrográfica do Rio Piquiri – PR

2.2 Delimitação automática das sub-bacias

Para os procedimentos que foram realizados com o intuito de obter as características físicas da área de estudo, foi utilizado o software ArcGis 10.1, desenvolvido pelo “Environmental Systems Research Institute – ESRI”, que permite gerenciar bancos de dados georreferenciados e realizar análises espaciais e bases cartográficas digitais no formato vetorial shapefile (.shp) e matricial raster (.GRID/.TIN).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) do estado do Paraná, utilizado neste estudo foi o disponibilizado por Valeriano (2004), o qual foi gerado a partir do projeto SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) que advém de cooperação entre a NASA e a NIMA (National Imagery and Mapping Agency), do DOD (Departamento de Defesa) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália (Valeriano e Abdon, 2007), em escala 1:250.000 e em resolução espacial de 30 metros, para todo o estado do Paraná.

A delimitação da bacia hidrográfica utilizada neste estudo em formato Shapefile, foi disponibilizada pela SUDERHSA (2007) no site do Instituto de Águas do Paraná e foi elaborado com base nas cartas do DSG/IBGE nas escalas 1:50.000 e 1:100.000.

A metodologia utilizada no processo de delimitação automática das sub-bacias, subdividiu-se em quatro etapas, sendo: preenchimento de falhas (“fill sinks”), confecção do mapa de direção de fluxo (“flow direction”), confecção do mapa de fluxo acumulado (“flow accumulation”) e por fim a delimitação automática da sub-bacias de interesse (“Watershed”) (Figura 2).

Para aplicação do comando Watershed, que delimita a bacia partindo da definição do ponto de exutório da mesma. Considerou-se como a localização da estação fluviométrica pertencentes a bacia hidrográfica (Tabela 1), a localização e a área de drenagem utilizados, foram os disponíveis, pela Agência Nacional de Águas (ANA), no sistema de informações hidrológicas (HIDROWEB).

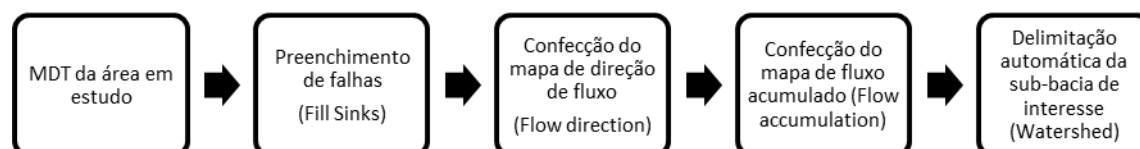


Figura 2. Principais etapas realizadas para delimitação de bacias hidrográficas a partir de dados MDT.

Tabela 1. Lista das estações fluviométricas localizadas na bacia hidrográfica do rio Piquiri

Código	Nome	Localização (UTM)		Área de Drenagem (km ²)
		Latitude	Longitude	
64764000	Guampará	7236358	370545	1690
64765000	Porto Paiquere	7230558	345372	3270
64767000	Porto Carriel	7240053	338869	3540
64771500	Porto Guarani	7248767	321951	4160
64773000	Ponte Leôncio Primo	7258554	375392	757
64775000	Balsa do Cantu	7261859	327852	2520
64776100	Foz do Cantu	7261259	310268	7650
64780000	Ponte Tourinho	7244873	290199	274
64785000	Ponte do Goio-Bang	7276164	304354	1340
64790000	Salto Sapucaí	7274101	287476	692
64795000	Ponte do Piquiri	7286889	280523	11200
64799500	Novo Porto 2	7299365	281258	12100
64800000	Porto 2	7307202	278542	13100
64810000	Bolsa do Goio - ere	7353403	282914	2040
64815000	Fazenda Uberana	7329138	264612	2960
64820000	Porto Formosa	7321694	263070	17400
64830000	Balsa Santa Maria	7324706	222066	20900
64833000	Iporã	7346254	220203	1070

2.3 Características físicas

As características físicas escolhidas foram: área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade entre a nascente e a foz do rio principal, declividade média da bacia e densidade de drenagem.

- **Área de drenagem:** As imagens obtidas na etapa anterior (Watershed) foram convertidas para polígono, através do comando Convert Raster to Features. A partir do polígono gerado, foi possível requerer na tabela de atributos a área da sub-bacia. Esta área encontrada pelo processo será comparada com a disponível pela ANA.

- **Comprimentos dos rios principais:** A partir das direções de fluxo e dos fluxos acumulados individualizou-se os rios principais de cada sub-bacia, utilizando o comando Raster Calculator, na extensão Map Algebra. Em seguida as imagens foram convertidas para vetor por meio do comando Conversion Tools - Raster to Polyline. E a partir da polyline gerada foi possível obter o comprimento do rio principal na tabela de atributos.
- **Densidades de drenagem (Dd):** Utilizando os mesmos passos descritos anteriormente foi individualizado o mapa da hidrográfica referente a cada sub-bacia, porém na extensão Map Algebra, foi requerido um mapa mais detalhado. Foram calculadas as somas de todos os trechos, utilizando a ferramenta estatística disponível na tabela de atributos. Aplicando os valores encontrados na Equação 1, as densidades de drenagem foram calculados.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (1)$$

- **Declividades entre a nascente e a foz dos rios principais (Sl):** A razões entre as diferenças de cotas dos pontos pelos comprimentos totais dos rios principais forneceram as estimativas utilizadas neste estudo (FERREIRA et al., 2007; PAZ et al., 2008). Foram gerados os pontos inicial e final do rio, pelo comando Feature Vertices to Points disponível em Data Management Tools. As cotas dos pontos foram obtidas com o uso da imagem do MDT-fill através da ferramenta Interpolate Shape na extensão 3D Analyst Tools.
- **Declividades médias das bacias (Sm):** Através do comando Slope, disponível na extensão Surface Analysis, foram obtidas as declividades, em porcentagem, para toda bacia hidrográfica. Para determinação das declividades médias das sub-bacias foi utilizado a ferramenta Zonal Statistics as Table também no Surface Analysis.

Na Tabela 2, é possível observar o resumo da metodologia utilizada para extração das características físicas das sub-bacias.

Tabela 2. Resumo da metodologia para extração das características físicas

Característica física	Ferramenta utilizada no ArcGis	Forma de obtenção
Área de drenagem	Delimitação: Hydrology > Watershed. Conversão da imagem: Spatial Analyst > Convert Raster to Features.	A partir da localização das estações fluviométricas.
Comprimento do rio principal	Isolamento: Map Algebra > Raster Calculator Conversão da imagem: Conversion Tools > From Raster > Raster to Polyline Valor direito na tabela de atributos	A partir do mapa de direção de fluxo e de fluxo acumulado.
Declividade do rio principal	Definição dos pontos: Data management tools > Features > Feature Vertices To Points Obtenção das cotas : 3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolate Shape	Razão entre a diferença das cotas dos pontos iniciais e finais do rio pelo comprimento total do mesmo.
Declividade média da bacia	Declividade da bacia: Surface Analysis Tools > Surface > Slope Declividade média das sub-bacias: Surface Analysis Tools > Zonal > Zonal Statistics as Table	Média das declividades de todas as células de cada sub-bacia (área de drenagem).
Densidade de Drenagem	Isolamento : Map Algebra > Raster Calculator Conversão da imagem: Conversion Tools > From Raster > Raster to Polyline	Razão entre os comprimentos totais dos cursos d' água de cada sub-bacia por sua respectiva área.

Comprimento total dos rios → Soma dos valores na tabela de atributos.

Para a validação e comparação da metodologia de delimitação automática com os dados de área da ANA, utilizou-se: Erro Médio (ME), Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) e Coeficiente de Concordância aprimorado de Willmott et al. (2012) (dr); definidos respectivamente, nas Equações 2 a 5.

em que:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O - E) \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (O - E)^2} \quad (3)$$

$$dr = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |O - E|}{2 \sum_{i=1}^n |O - \bar{O}|} \quad (4)$$

O = valor de áreas disponível pela ANA (km^2); E = valor estimado com base nos metodologia de delimitação automática (km^2) e \bar{O} é a média dos valores disponíveis pela ANA (km^2).

3. Resultados e Discussão

Na Figura 3 é possível observar a rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Piquiri. E na Figura 4, observa-se o mapa de declividade da bacia em porcentagem.

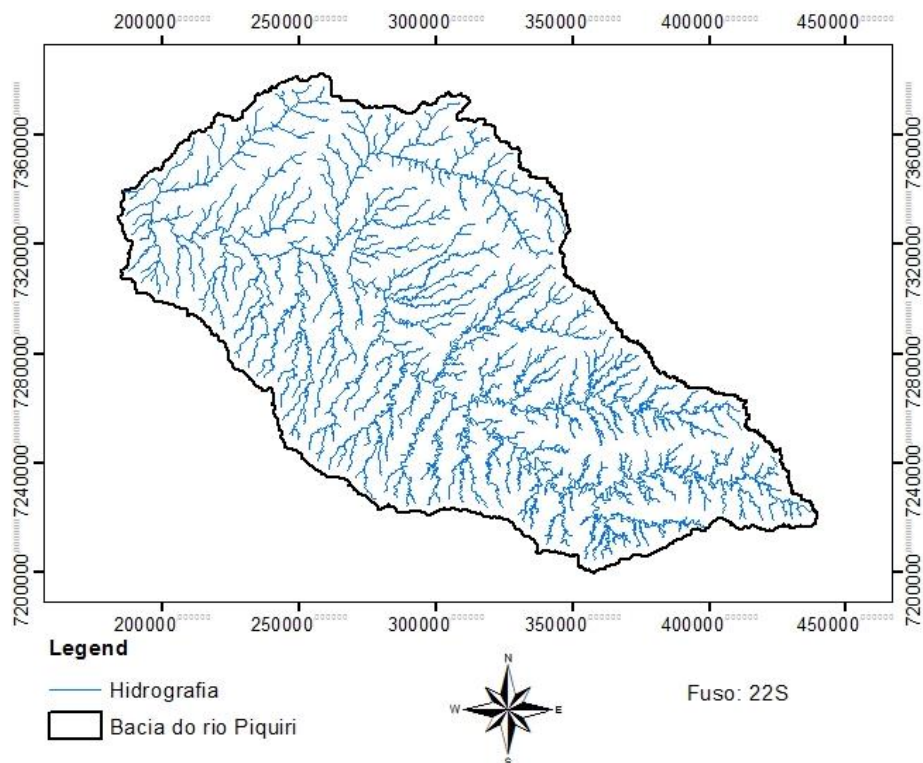


Figura 3. Rede de drenagem da bacia do rio Piquiri.

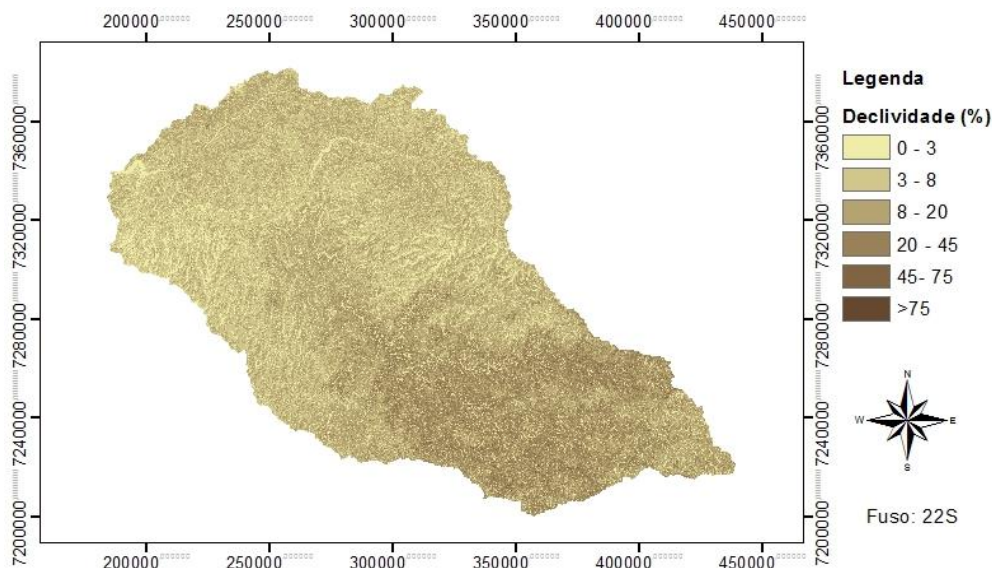


Figura 4. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Piquiri.

Área de drenagem (A), o comprimento do rio principal (L), a declividade média da bacia (Sm), a declividade entre a nascente e a foz do rio principal (Sl) e a densidade de drenagem (Dd), estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características físicas das sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Piquiri

Código	Nome	Área (km ²)	Lp (m)	Dd (m/Km ²)	Sl (m/Km)	Sm (%)
64764000	Guampará	1687,5	151,38	0,707	0,0893	14,6779
64765000	Porto Paiquere	3281,04	248,19	0,721	0,0754	17,1836
64767000	Porto Carriel	3536,36	261,08	0,720	0,0736	17,3762
64771500	Porto Guarani	4162,23	313,78	0,718	0,0752	17,7167
64773000	Ponte Leôncio Primo	754,59	73,83	0,685	0,0969	20,0919
64775000	Balsa do Cantu	2521,03	184,35	0,694	0,0729	16,6224
64776100	Foz do Cantu	7649,71	359,32	0,711	0,0469	17,2832
64780000	Ponte Tourinho	274,33	34,76	0,633	0,1244	10,7102
64785000	Ponte do Goio-Bang	1335,28	134,13	0,642	0,1000	8,6404
64790000	Salto Sapucaí	695,21	95,43	0,656	0,1363	10,6428
64795000	Ponte do Piquiri	11235,3	428,31	0,695	0,0381	15,3273
64799500	Novo Porto 2	12073,9	444,61	0,691	0,0368	14,8268
64800000	Porto 2	13100,4	454,18	0,683	0,0346	14,1885
64810000	Bolsa do Goio - ere	2035,09	102,30	0,618	0,0500	6,9756
64815000	Fazenda Uberana	2957,46	142,99	0,616	0,0481	6,9155
64820000	Porto Formosa	17415,9	501,29	0,666	0,0287	12,3940
64830000	Balsa Santa Maria	20943,8	561,43	0,657	0,0268	11,3936
64833000	Iporã	1065,52	60,64	0,617	0,0563	7,7282

Na Tabela 3, são apresentados as estatísticas obtidas entre os dados da delimitação automática e os oficiais da ANA para a bacia hidrográfica do rio Piquiri.

Ao analisarmos os dados pelo erro médio, constatou-se, que na escala estudada (bacia hidrográfica do rio Piquiri), a área obtida pela delimitação automática foi subestimada 9,15. O

RMSE, que informa sobre a acurácia do modelo, mostrou que em média, para área estudada, o valor foi de 15,52, relativamente baixo.

O Índice de Concordância (dr) que mediu a exatidão dos valores estimados (delimitação automática) em relação aos dados oficiais (ANA) mostrou que, o valor foi de 0,99, ou seja, uma alta exatidão entre os dados.

Tabela 3. Estatísticas obtidas entre os dados da delimitação automática de área (km²) e os dados oficiais da ANA (km²)

Variáveis		
ME	RMSE	dr
9,158	15,52	0,99

4. Conclusão

A metodologia aplicada mostra-se adequada e de fácil utilização, podendo ser empregada a estudos em outras localidades.

A delimitação automática apresentou precisão compatível com os dados apresentados no inventário das estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), mostrando-se dessa forma ser uma boa ferramenta na análise morfométrica de bacias hidrográficas.

5. Agradecimentos

A capes pelo apoio financeiro e a Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela estrutura.

6. Referências Bibliográficas

BRASIL. **Lei n.º 9.433**, 8 de janeiro de 1997. Presidência da República: Casa Civil. 1997

FERREIRA, D. S. et al. Utilização de dados de sensoriamento remoto para obtenção das características físicas da bacia hidrográfica do córrego João Pedro em Linhares – Espírito Santo. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007.

MAGALHÃES, P. S.; GOMES, A. da S.; SOUZA, C. M. P. de; FERNANDES, E. S. Análise Fisiográfica da Sub-Bacia de Transição do Rio das Contas, Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica do Prodepa**, v.8, n.1, p. 26-45, Fortaleza, 2014.

OLIVEIRA, S. N.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; SILVA, T. M.FULLER,.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. de S. Delimitação automática de bacias de drenagem e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.8, n.1, p.3-21, 2007.

PAZ, A. R. et al. Errors in river lengths derived from raster digital elevation model. **Computer and Geosciences**, vol. 34, p. 1584-1596, 2008.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista UNIARA**, n.20, p.137-157, 2007.

VALERIANO, M. de M. **Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. 72p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP, 2004.

VALERIANO, M.de M.; ABDON, M.de M. Aplicação de Dados SRTM a estudos do Pantanal. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.59, n.1, p.63-71, Abril, 2007.