

Metodologia de coleta e tratamento de dados topográficos para elaboração de modelos digitais de elevação em áreas urbanas

D. C. Leal Alves¹; T. B. R. Gandra¹; M. G. Albuquerque¹; J. M. A. Espinoza; C. F. Göbel¹

¹*Departamento de Geoprocessamento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS Campus Rio Grande, CEP 96.201-460, Rio Grande – RS, Brasil*

dclealalves@gmail.com

(Recebido em 06 de dezembro de 2013; aceito em 28 de novembro de 2014)

O município do Rio Grande passa por um acelerado processo de crescimento urbano, alavancado pelo dinamismo econômico da indústria naval. A consolidação de loteamentos associado a rápida expansão urbana, tem trazido diversos problemas relacionados a ineficiência do escoamento das águas pluviais, entre eles a presença de áreas de constantes alagamentos. Características morfológicas do relevo predominantemente plano ($\Delta z < 1$ m) e a ausência de infraestrutura, tem contribuído para um quadro crítico com relação a drenagem urbana no Balneário Cassino. O foco deste trabalho é o estabelecimento de uma metodologia que contemple a coleta e o tratamento de dados topográficos, objetivando o mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos no balneário. Foram coletados 191 pontos amostrais com uso de GPS Geodésico da marca *Leica*, a partir de uma malha regular. Esses dados passaram por um modelo geoidal local com fins de ortoretificação. Os pontos amostrais de elevação foram interpolados por meio de dois métodos: Krigagem e IDW. A comparação dos MDEs com 30 pontos de controle apresentou um erro médio para os valores altimétrico de 0,227m e 0,218m para o IDW e a Krigagem, respectivamente. Apesar da diferença o método de Krigagem apresentou uma suavização dos valores, subestimando os máximos absolutos, enquanto o resultado do IDW acentuou os máximos absolutos, mas com valores próximos aos amostrais. Devido a convergência e preservação da variabilidade dos valores de elevação, necessária para uma correta modelagem hidrológica de grande escala, o MDE do método IDW se mostrou mais indicado para análises hidro-geomorfológicas para a área de estudo.

Palavras-chave: GPS geodésico, interpolação, áreas de alagamento.

DEM elaboration in urban areas – methods in collecting and processing topographic data

The city of Rio Grande is currently undergoing accelerated urban expansion driven by the dynamic economy of the maritime industry. The consolidation of settlements associated with this rapid urban expansion has resulted in inefficient rainwater runoff, with occurrence of constantly flooding areas. The mainly flat morphology of the terrain ($\Delta z < 1$ m) combined with a lack of infrastructure has contributed to a critical urban drainage scenario at the Cassino Beach area. This work aimed at describing a method for collecting and processing topographical data, focusing on flooding-susceptible areas in Cassino. 191 elevation points were collected using a Geodesic GPS (*Leica Geosystems*), based on a regular grid; data was orthorectified using a geoid model. The collected elevation points were interpolated using two methods: Kriging and IDW. Comparison of the two DEMs with 30 control points showed mean altimetry error of 0.227m and 0.218m for IDW and Kriging, respectively. Despite this difference, Kriging interpolation showed smoothed values and underestimated the absolute maximum, whereas IDW interpolation accentuated the absolute maximum, but with values close to the control points. Due to convergence and preservation of elevation variability, necessary for a correct large-scale hydrological model, the IDW DEM is recommended for hydro-geomorphological analyses at the study area.

Keywords: geodetic GPS, interpolation, flooding areas.

1. INTRODUÇÃO

O município do Rio Grande passa na atualidade por um acelerado processo de crescimento de sua área urbana, a partir da inserção de novos loteamentos e expansão das localidades já consolidadas, devido a expressiva demanda habitacional alavancada pelo fomento da indústria

naval e *offshore*. Entretanto, são evidentes os problemas estruturais no planejamento e implementação destes novos loteamentos que, associados ao relevo plano da região, resultam em áreas suscetíveis a alagamentos e/ou inundações, causando prejuízos ambientais, sociais e econômicos.

Inserido nas atuais políticas do Governo Federal, que discutem a questão da prevenção aos desastres naturais, o mapeamento dos principais pontos de alagamentos no Balneário Cassino servirá como ferramenta de suporte aos gestores do município, tanto no viés urbano quanto ambiental e costeiro. Em termos de planejamento dos futuros loteamentos e demais obras de infraestrutura do balneário Cassino, o conhecimento das localidades mais suscetíveis aos efeitos provocados pelas fortes chuvas torna-se de fundamental apoio para a elaboração de ações que busquem mitigar os prejuízos causados. Os métodos tradicionais de coleta, tratamento e modelagem de dados hidro-geomorfológicos possuem restrições operacionais se aplicados no balneário Cassino sem o devido tratamento, visto que a baixa declividade e lento escoamento pluvial são características determinantes da morfologia local.

Por estarem inseridos em uma área caracterizada por um relevo de baixa amplitude, os dados adquiridos também requerem uma maior acurácia por parte do levantamento da elevação do terreno, bem como sua correção ortométrica, visto que variações altimétricas em escala de centímetros podem indicar possíveis fluxos de drenagem ou estagnação das águas pluviais. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal estabelecer uma metodologia de coleta e tratamento de dados topográficos para a elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), de modo que essas informações possam servir como suporte para o diagnóstico de áreas mais suscetíveis a alagamentos no Balneário Cassino, Rio Grande (RS).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Planejamento e coleta de pontos amostrais

O levantamento topográfico foi realizado com GPS Geodésico da marca *Leica*, o qual opera com precisão altimétrica de 0,02 metros. O equipamento foi posicionado sobre um referencial de nível (RN) da rede de apoio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O princípio metodológico para coleta de dados planialtimétricos com GPS Geodésico consiste no uso de um par de antenas receptoras, sendo uma de base fixa (sobre o RN) e outra móvel, junto ao operador, a qual transmite as informações de coleta na forma de posicionamento relativo. O gerenciamento do levantamento é feito a partir de uma controladora portátil (PDA), onde são indicadas, por exemplo, a situação atual da constelação de satélite, a comunicação entre a base e o móvel, e a precisão do sinal para a aquisição de dados.

Na aquisição de dados com GPS Geodésico, foi priorizada a coleta nas vias de circulação, principalmente quando a localização de um determinado ponto da malha estava inacessível (por exemplo, em lotes particulares e/ou áreas de difícil acesso), ou quando ocorria a obstrução do sinal do equipamento, uma limitação por conta da presença de áreas urbanizadas ou com densidade arbórea. A coleta se deu na forma de pontos em grade regular, distribuídos uniformemente dentro do recorte espacial (Figura 1). A malha de pontos amostrais foi elaborada para que a distância entre os pontos fosse menor que 200 metros, levando em conta a escala cartográfica de operação (1:20.000). O método adotado para a aquisição dos dados em campo foi o *Stop and Go*, com o posicionamento da antena móvel em cada ponto da grade regular, totalizando 191 pontos coletados (Figura 1).

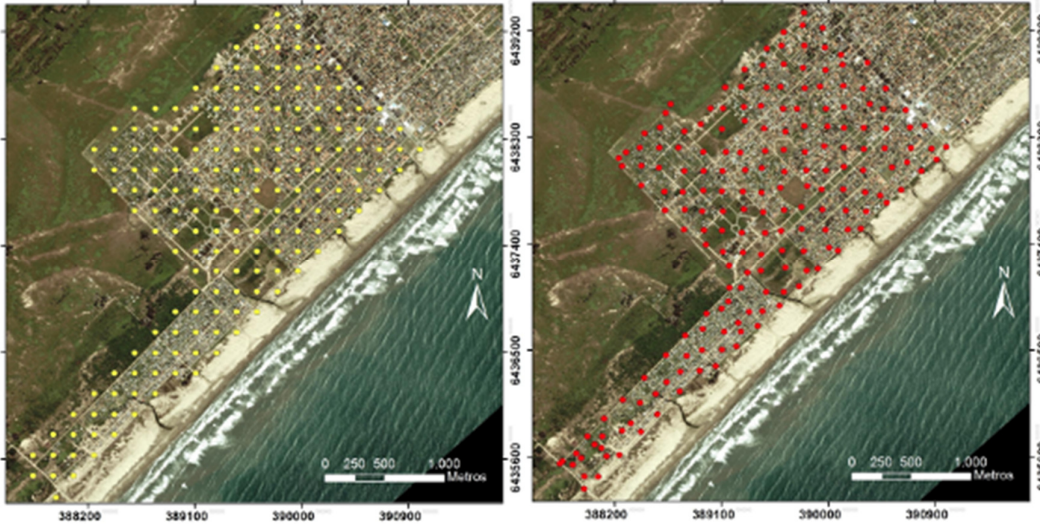


Figura 1: Pontos de coleta de dados topográficos. Malha regular planejada (E) e pontos efetivamente coletados (D).

2.2. Processamento dos dados e interpolação

Os dados altimétricos (Z) foram inseridos em modelo geoidal local (Equação 01) para a obtenção de dados de elevação retificados em relação ao geoide. Para o presente trabalho, foram utilizados os valores da carta de ondulação geoidal para o Balneário Cassino elaborado por Teixeira (2011)[1]. Este procedimento é altamente recomendado, visto que a coleta a partir do rastreamento por satélites informa a altimetria elipsoidal (h), enquanto que o cálculo de ondulação geoidal (N) permite estabelecer a altimetria ortométrica (H). Tratando-se de uma orla marítima de planície arenosa, com topografia próxima da cota zero, o modelo geoidal possibilitou que os valores altimétricos fossem corrigidos, tornando o modelo de elevação mais próximo da topologia real.

$$N = h - H \quad (01)$$

Para este estudo, foram construídos dois modelos digitais de elevação (MDE) a partir de Krigagem (*Kriging*) e Inversos do Quadrado da Distância (IDW). A interpolação por Krigagem visa o estabelecimento de cotas de pontos de interesse a partir das amostras de seus vizinhos por média ponderada, distribuindo os pesos conforme a variabilidade do arranjo espacial determinado por procedimento geoestatístico [2]. Para a obtenção do MDE por Krigagem foi utilizado o método ordinário e, a partir da análise do semivariograma, foi escolhido o modelo gaussiano (curva normal). A interpolação se deu na forma de 12 pontos no raio de busca dos vizinhos mais próximos.

O IDW por sua vez, consiste em um modelo determinístico de efeito local, onde cada ponto da superfície terrestre é estimado a partir da interpolação dos pontos amostrais mais próximos, assim como a média ponderada da Krigagem, mas utilizando a função do inverso do quadrado da distância [3]. Para a elaboração do MDE a partir do método IDW, também foram utilizados 12 pontos amostrais vizinhos para a interpolação, mas com raio de busca arbitrário.

2.3. Comparação e validação dos modelos

Para fins de comparação e extração do nível de precisão e erro de cada método de interpolação, foi executada a comparação entre os MDEs gerados por krigagem e pelo método IDW com 30 pontos de teste selecionados randomicamente dentre os pontos coletados. A partir da diferença entre os dados de elevação dos MDEs com os respectivos pontos de teste, determinaram-se matrizes de erro para cada um dos métodos de interpolação. Os pontos de teste foram selecionados

aleatoriamente (14% do total) a fim de permitir uma cobertura amostral estatisticamente válida para a análise da qualidade dos MDEs. Posteriormente, foram calculadas as diferenças entre o valor real e o valor interpolado, para o cálculo do erro médio quadrático (RMS) de cada interpolação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do tratamento dos dados coletados em campo (correção ortométrica) e análise do semivariograma (Figura 2), foi elaborada a Krigagem em método ordinário com curva em modelo gaussiano. A escolha pela distribuição gaussiana de probabilidade se deu pelo fato da altimetria do terreno, no balneário Cassino, ter um comportamento aleatório, com “n” amostral denotando uma sobreposição de distintas distribuições de probabilidade, o que atribui um caráter gaussiano para os dados. O modelo gaussiano apresentou uma representatividade estatística de 98.2%, estimados a partir do efeito pepita (*nugget*), o que nos indica que aproximadamente 98% dos dados estão cobertos por uma distribuição normal.

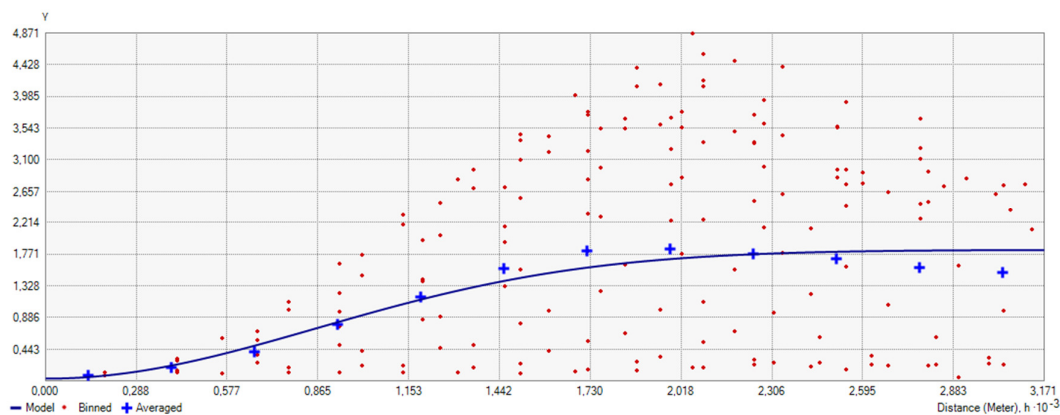


Figura 2: Semivariograma dos dados coletados e curva gaussiana.

O resultado da interpolação por Krigagem (Figura 3) apresenta uma tendência de suavização da morfologia, pois o modelo leva em conta a variabilidade local e global. Tanto os valores máximos quanto mínimos foram subestimados em comparação aos valores reais, sendo o valor mais alto cerca de 0,02 metros menor que o valor coletado, enquanto o valor mais baixo cerca de 0,23 metros menor que o valor coletado.

Como se trata de uma região localizada próximo ao mar e com declividade suave, distorções nos valores mínimos podem indicar problemas se o objetivo do estudo visa análise hidrológica (a exemplo, áreas de alagamento ou inundação). Um diferencial do método de krigagem é que, em comparação ao IDW, ela considera as tendências estatísticas sugeridas pelos dados de campo de maneira que pontos elevados podem ser conectados em uma crista, em vez de linhas de contorno tipo “olho-de-boi” isoladas [4]. Entretanto, a krigagem é mais indicada para a caracterização morfológicas, mas é limitada quando aplicada a modelos hidrológicos, sendo neste caso o uso de interpoladores exatos mais indicado [5].

A interpolação por método exato IDW (Figura 3), ao contrário da Krigagem, acentuou os valores máximos absolutos de elevação, mas manteve-os próximo dos valores originais. Esta capacidade em manter o caráter original dos dados permite ao método IDW uma melhor representatividade do perfil real do terreno, o que com o aumento da malha amostral, propiciará a uma convergência com o terreno real.

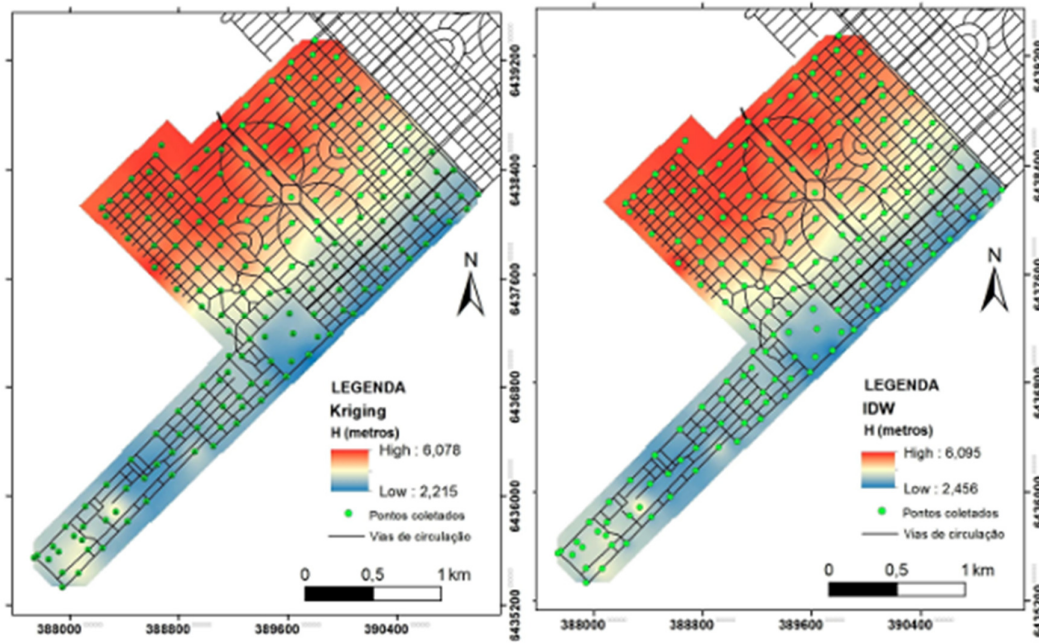


Figura 3: Resultados da interpolação por Krigagem (E) e IDW (D).

A aplicação do método IDW tende naturalmente a acentuar os máximos locais, formando “picos” artificiais [3]. Esta tendência de “picos” não ficou nítida no MDE gerado por IDW, pois a cobertura amostral densa e regularmente distribuída ampliou a convergência do método. Embora que globalmente para toda área tenhamos um MDE suave via IDW, assim como na krigagem, em uma vista local apresentam-se perfis topográficos ainda suaves via krigagem, mas com a presença de extrapolações pelo método IDW (Figura 4).

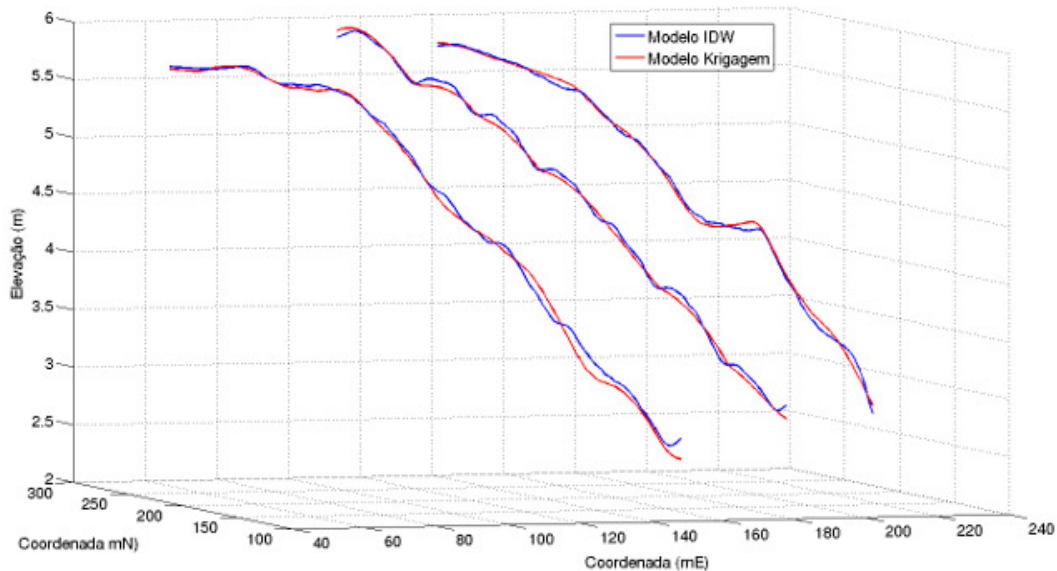


Figura 4: Comparação de perfis de altitude segundo cada método de interpolação.

Mesmo apresentando um comportamento local com presença de máximos artificiais, o IDW mostra-se como uma abordagem mais adequada para a aplicação em modelos hidrológicos em escala urbana. Este fato se deve pela preservação de mínimos e máximos locais, fundamentais

para modelagem hidrológica, embora que globalmente existam prejuízos de representação. Esta preservação da variabilidade local reflete-se nos valores do erro médio quadrático (RMS), maiores para o IDW. Mesmo apresentando um perfil com valores mais próximos às amostras, o método IDW obteve um erro RMS vertical de 0,227, maior que o método de krigagem que foi de 0,218 metros (Tabela 1). Isto se deve a preservação de uma maior variabilidade morfológica dos dados interpolados no MDE via IDW do que aqueles obtidos via krigagem.

Tabela 1: Comparação da elevação ortorretificada obtidas através dos pontos de validação de cada MDE.

Pontos de Validação	Krigagem		IDW	
	H	Erro	H	Erro
2.558	2.940	-0.382	3.174	-0.616
2.771	2.809	-0.038	3.073	-0.301
2.799	3.041	-0.243	3.068	-0.270
2.816	2.632	0.184	2.848	-0.032
2.895	3.279	-0.384	3.218	-0.323
2.934	3.214	-0.280	3.115	-0.181
3.013	3.047	-0.034	3.214	-0.201
3.275	3.519	-0.243	3.443	-0.168
3.340	3.532	-0.192	3.628	-0.288
3.446	3.441	0.006	3.365	0.081
3.528	2.948	0.580	3.131	0.397
3.539	3.350	0.189	3.319	0.219
3.684	3.754	-0.070	3.813	-0.129
3.742	3.703	0.039	3.603	0.140
3.783	3.742	0.040	3.791	-0.008
4.305	3.867	0.438	3.896	0.409
4.419	4.128	0.291	4.167	0.253
4.509	4.691	-0.181	4.695	-0.185
4.567	4.468	0.100	4.575	-0.008
4.803	4.971	-0.169	5.025	-0.222
5.508	5.489	0.019	5.571	-0.063
5.553	5.484	0.069	5.492	0.061
5.665	5.675	-0.010	5.681	-0.016
5.703	5.852	-0.149	5.761	-0.058
5.754	5.747	0.007	5.749	0.005
5.795	5.618	0.177	5.622	0.174
5.849	5.796	0.053	5.783	0.065
5.873	5.875	-0.002	5.872	0.001
6.001	5.843	0.157	5.785	0.216
	RMS	0.218	RMS	0.227

Analisando os dados obtidos por cada um dos métodos de interpolação para a geração do MDE, obteve-se um erro médio de $-0.000894 \pm 0.221807\text{m}$ e $-0.036122 \pm 0.227623\text{m}$ para a krigagem e o IDW, respectivamente. Embora o intervalo de erro máximo tenha maior amplitude para o IDW (0.455246m) do que para a krigagem (0.443614m), o IDW mostra-se como o método mais indicado para a geração de MDEs de áreas urbanas planas por conta da preservação dos valores

locais em detrimento da estatística global, principalmente quando se tem como objetivo a utilização deste modelo para a modelagem hidrológica.

4. CONCLUSÃO

As características morfológicas que compõem o sítio urbano do Balneário Cassino restringem a forma de aquisição e tratamento dos dados de elevação. A topografia suave, com rugosidade limitada a presença de dunas interiores e canais de drenagem, condicionam um maior cuidado no tocante a precisão do levantamento e interpolação dos dados. Neste sentido, a modelagem do terreno a partir do método de Krigagem mostrou uma acentuada tendência à suavização da morfologia, subestimando os valores dos máximos absolutos e imprimindo a variabilidade global em detrimento a variabilidade local.

Em uma análise comparativa entre os métodos de interpolação geoestatísticos utilizados neste trabalho para geração de modelos digitais de elevação a partir de dados pontuais de campo, IDW e Krigagem, evidencia-se uma melhor resposta do método IDW em virtude do mesmo preservar os valores de campo (e sua regionalidade) enquanto o método de Krigagem estima valores locais baseados na estatística global do levantamento. Estas duas abordagens fazem com que o método IDW preserve a variância original da topografia, fator de grande relevância na modelagem hidrológica em microescala, enquanto a Krigagem suaviza os valores locais, negligenciando pequenas variações topográficas, fundamentais à modelagem hidrológica.

1. Teixeira DL. Elaboração da carta de ondulações geoidais da metade sudoeste do Balneário Cassino, Rio Grande/RS, com uso do sistema GNSS/Nivelamento. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul; 2011. 78 p.

2. Valeriano MM. Dados topográficos. In: Florenzano, T. G. (org.). Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos; 2008. p. 72-103.

3. Camargo ECG, Fucks SD, Câmara G. A análise espacial de superfícies. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; 2002. p. 1-38.

4. Tagliani CR, Conterato MR, Antiquiera JAF, Calliari LJ, Tagliani PR, Soares MN. Construção de um modelo de elevação digital de terreno para a Ilha dos Marinheiros, Rio Grande, RS, com uso de DGPS e rotinas de geoprocessamento. Gravel, 2006; 4:89-98.

5. Valeriano MM. TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; 2008. 44 p.