

CARTAS DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO E A INUNDAÇÕES PARA ÁREA DE EXPANSÃO URBANA DE ILHA SOLTEIRA/SP COMO SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL URBANO.

LOLLO, J.A.¹ & VIVANCO, J.M.C.² & SANTOS, F.M.³

Resumo - De acordo com Mota (1995), o planejamento territorial com base nas características locais do meio físico constitui o melhor método para evitar a degradação de seus recursos naturais. Nesse sentido o presente trabalho tem por objetivo elaborar a carta de suscetibilidade a erosão e a carta de suscetibilidade a inundações para área de expansão urbana do município de Ilha Solteira como subsídio ao planejamento territorial urbano a partir da combinação de dados do projeto TOPODATA, em relação às variáveis, declividade, curvatura horizontal e curvatura vertical. Os resultados foram tratados de forma a expressar a distribuição desses dados segundo os landforms (unidades e elementos de terreno) reconhecidos na área por Lollo (1998 e 1999) de forma a permitir a verificação entre as classes de atributos do terreno oriundas do Projeto Topodata e as classes definidas por Lollo para a mesma área. Desta forma foram elaboradas as cartas que apresentaram como resultados que as áreas com maior suscetibilidade à erosão e à inundação se localizam nos limites da área urbana com a área de expansão, necessitando assim de processos de intervenção para reversão deste quadro e preservação e conservação da área, melhorando assim a qualidade ambiental e qualidade de vida da população.

Palavras-chave – Planejamento territorial, Ilha Solteira, Suscetibilidade.

Abstract – According to Mota (1995), territorial planning based on natural environment attributes is the best method for prevent degradation of natural resources. The present work aims to produce maps of erosion and flooding susceptibility to urban expansion area of Ilha Solteira as a subsidy to territorial planning from the combination of design data TOPODATA, according to the attributes steepness, horizontal curvature and vertical curvature. The results were treated to express the distribution of these data according to the landforms (land units and land elements) recognized in the area for Lollo (1998 and 1999) in order to verify the relationship between classes of terrain attributes derived from the Topodata Project and the classes defined by Lollo to the same area. The maps had been prepared as results showed that areas with higher susceptibility to erosion and flooding are located in the limits of the urban area with the expansion area. These areas require intervention processes to reverse this situation and the preservation and conservation of the area, thus to improve environmental quality and quality of life.

Keywords – Territorial Planning, Ilha Solteira, Susceptibility

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP – Email: lolloja@dec.feis.unesp.br

² Universidade Estadual Paulista – UNESP – Email: ingmaoviva@gmail.com

³ Universidade Estadual Paulista – UNESP – Email: fran.mendonca@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Desde a disponibilização de dados SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) para a América do Sul, em meados de 2003, há uma grande expectativa com relação aos ganhos de conhecimento sobre nosso território, justificada pela carência geral de dados topográficos em escalas adequadas.

No intuito de se acelerar este processo, a iniciativa TOPODATA foi conduzida na forma de projeto para o cálculo e a oferta de variáveis geomorfológicas locais com estes dados por todo o território nacional. Tais variáveis correspondem aos elementos básicos sobre os quais se fundamentam as técnicas de interpretação e análise do relevo. Com base em inúmeros trabalhos na literatura científica, endossados por solicitações igualmente numerosas, o projeto incluiu entre seus produtos as variáveis: declividade, orientação de vertentes, curvatura horizontal, curvatura vertical e insumos para o delineamento da estrutura de drenagem (VALERIANO, 2008).

Dada sua natureza local, essas variáveis podem ser calculadas em ambiente de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) com qualidade relativamente aceitável e ganhos operacionais absolutos, sobretudo de velocidade e padronização. Dessa forma, a citada iniciativa culmina uma série de desenvolvimentos em busca de metodologias e algoritmos de derivação geomorfológica, e resulta na geração de um extenso banco de dados estruturado na forma de planos de informação, em cobertura nacional, para livre uso pela comunidade científica.

Os dados SRTM apresentam resolução horizontal (i.e., resolução espacial) de 3 arco-segundos (~90m) e resolução vertical de 1m. Toda a aquisição dos dados SRTM foi planejada a suprir mapeamentos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000.

Nesse sentido, os Modelos digitais de elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude do relevo, idealmente, para que o MDE seja uma representação da topografia.

Embora os MDE sejam úteis para representações do relevo e de variáveis derivadas, sendo a declividade a mais conhecida delas, o uso da elevação tem aplicações em situações variadas como estudos climáticos, hidrológicos e processos envolvendo movimentos gravitacionais (VALERIANO, 2008).

No projeto Topodata as variáveis geomorfológicas foram obtidas a partir da altimetria por derivações em torno de cada ponto por meio de janelas móveis. Foram obtidas a declividade e a orientação de vertentes (derivadas de primeira ordem) e as curvaturas vertical e horizontal (derivadas de segunda ordem).

As variáveis morfométricas foram classificadas e combinadas para a produção de mapas de intervalos, como classes de declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal.

Outra aplicação possível das informações obtidas do Projeto Topodata é seu uso para avaliação preliminar do potencial de áreas para expansão urbana considerando os processos naturais que podem induzir danos ambientais na área em estudo.

Na área urbana e de expansão urbana de Ilha Solteira as avaliações de maior interesse para essa finalidade são potenciais de ocorrência de processos erosivos e de inundações. As análises relativas a tais processos na área se basearam nas classificações de forma do terreno e declividade obtidos a partir dos dados do Projeto Topodata, e reclassificados para gerar as cartas preliminares de suscetibilidade a erosão e suscetibilidade a inundações.

O município de Ilha Solteira localiza-se na região noroeste do Estado de São Paulo, entre os meridianos 51º00' e 51º30' W e os paralelos 20º15' e 20º45' S, abrangendo uma área de cerca de 640km². Sua localização no Estado de São Paulo pode ser observada na Figura 1.



Figura 1 – Localização do município de Ilha Solteira no Estado de São Paulo.

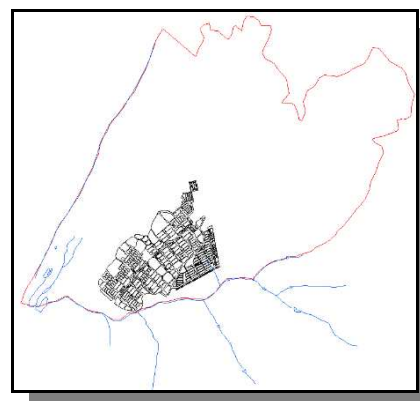


Figura 2 – Localização da área em estudo no município de Ilha Solteira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho corresponde à elaboração de mapas de landforms (nos níveis hierárquicos unidade de terreno e elemento de terreno) para a área em estudo a partir da combinação de dados do Projeto TOPODATA.

Os dados foram inicialmente organizados em cartas de fatores onde se representa cada um dos tipos de dados disponibilizados pelo Projeto Topodata (por exemplo, declividade). Na sequência tais resultados foram tratados (com operação de recorte) de forma a expressar a distribuição dos dados do Projeto Topodata segundo os landforms (unidades e elementos de terreno) reconhecidos na área por Lollo (1998 e 1999) de forma a permitir a verificação entre as classes de atributos do terreno oriundas do Projeto Topodata e as classes definidas por Lollo para a mesma área. Os atributos essenciais considerados por Lollo (1998) para a classificação de unidades e elementos de terreno são destacados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos elementos de terreno identificados.

Elemento	Posição	Forma	Declividade	Textura/solo	Espessura
A.1.1	1/3 superior	Colina com encosta convexa	5-10%	Arenosa	<7m
A.1.2	1/3 inferior	Colina com encosta retilínea	>10%	Arenosa	2-5m
A.1.3	1/3 inferior	Vale com encosta retilínea	>10%	Arenosa	<2m
A.2.1	Topo	Colina com encosta convexa	<2%	Arenosa	>20m
A.2.2	1/3 inferior	Colina com encosta convexa	2-5%	Arenosa	>10m
B.1.1	Fundo	Planície Aluvial	<2%	Arenosa	<5m
B.1.2	1/3 superior	Colina com encosta convexa	2-5%	Média	<10m
B.1.3	1/3 inferior	Vale com encosta côncava	>10%	Argilosa	<2m
B.3.1	1/3 inferior	Colina com encosta côncava	>10%	Média	<6m
B.3.2	1/3 superior	Colina com encosta convexa	5-10%	Argilosa	<10m

Fonte: Lollo (1998).

Tais dados, como citado anteriormente, foram obtidos dos trabalhos de Lollo (1998 e 1999) que apresenta um zoneamento do meio físico da área em estudo dividindo-a em sistemas, unidades e elementos de terreno.

Os resultados desses trabalhos foram convertidos de arquivos de CAD para arquivos em formato shapefile para sua inserção no banco de dados digitais no ArcGIS 10 (ESRI, 2011) para a geração das cartas de landforms.

Em relação aos dados SRTM, estes, foram alvo de uma seqüência de operações, que podem ser resumidas à captura, o refinamento e as derivações geomorfométricas. Desde a primeira etapa, foram separados em folhas compatíveis com a articulação 1:250.000. Durante o processamento, as especificações cartográficas foram mantidas as mesmas dos dados originais (coordenadas em latitude e longitude e datum WGS84). Foram obtidas para elaboração das cartas de suscetibilidade a erosão e suscetibilidade a inundação as variáveis: declividade do terreno, curvatura horizontal e curvatura vertical.

A declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial. A declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal e seus valores podem variar de 0° a 90°, embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito. A estimativa da declividade com isolinhas se baseia na proporção entre desníveis e suas respectivas distâncias horizontais. É expressa em graus (de 0° a 90°) ou em porcentagem (de 0% a infinito). Em contraposição, em MDE as distâncias é que são constantes e determinadas pela resolução espacial e pelas posições relativas da janela móvel, enquanto os desníveis constituem o elemento variável.

Os dados de declividade do terreno foram obtidos do site do Projeto TOPODATA e reclassificados no ARCGIS segundo as classes de declividade utilizadas por Lollo (1998) na delimitação de unidades de terreno para a área.

A curvatura vertical expressa o formato da vertente quando observada em perfil. É definida com a segunda derivada da altitude, o que pode ser descrito como a variação da declividade ao longo de uma determinada distância, pode ser expressa em graus por metro. A estimativa da curvatura vertical se baseia na observação de dois segmentos consecutivos de vertente ao longo de uma linha de fluxo. Tal condição requer a observação de três isolinhas (em carta) ou três células (em MDE) sequenciais

A curvatura horizontal é a variação da orientação de vertentes ao longo de uma determinada distância, se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo. A medida da curvatura horizontal se baseia na mudança da orientação de vertentes em relação à distância horizontal, ao longo das curvas de nível. Da mesma forma que para as curvaturas verticais, é expressa em ângulo por distância. Sua estimativa em MDE se baseia na comparação, mediante janelas móveis, entre as orientações em torno do ponto analisado.

Assim, de forma a permitir a comparação entre os resultados, o zoneamento do meio físico da área obtido com as informações do Projeto Topodata se basearam nos mesmos atributos usados por Lollo (1998), declividade, curvatura vertical, e suas combinações. Para ilustrar os resultados obtidos, as tabelas 2 e 3 apresentam a comparação entre os resultados obtidos pelo Topodata e por Lollo (1998), para unidades de terreno e para elementos de terreno respectivamente, e que foram a base para a elaboração das cartas de suscetibilidade a erosão e suscetibilidade a inundação.

Tabela 2 – Resultados para unidades do terreno – Lollo (1998) X Topodata.

Resultados de Lollo (1998)			Resultados Topodata		
Unidade	Forma	Declividade	Unidade	Declividade e Curvatura Vertical	
A.1	Encostas convexas a retilíneas.	>5%	A.1	Retilínea 77,4% Côncava - 12,7%	<5 - 31,87% 5-10 - 52,85%
A.2	Encostas convexas.	<5%	A.2	Retilínea - 76% Convexa - 12,3%	<5 - 35,8% 5-10 - 51,76%
B.1	Encostas convexas a côncavas.	<10%	B.1	Retilínea - 68,8% Convexa - 15,7%	<5 - 27,12% 5-10 - 54,34%
B.3	Encostas côncavas e convexas.	>5%	B.3	Retilínea - 82,3% Côncava - 9,4%	<5 - 65,42% 5-10 - 30,32%

Tabela 3 – Resultados para elementos do terreno – Lollo (1998) x Topodata.

Resultados de Lollo (1998)			Resultados Topodata		
Elemento	Forma	Declividade	Elemento	Curvatura Vertical e Declividade	
A.1.1	Encosta convexa	5-10%	A.1.1	Retilínea - 66,9% Côncava - 29,1%	2-5 - 45,6% 5-10 - 39,98%
A.1.2	Encosta Retilínea	>10%	A.1.2	Retilínea - 65,1% Côncava - 32,4%	5-10 - 61,95%
A.1.3	Vale Retilíneo	>10%	A.1.3	Retilínea - 80% Convexa - 11,3%	2-5 - 28,17% 5-10 - 53,78%
A.2.1	Encosta convexa	<2%	A.2.1	Retilínea - 79% Convexa - 15,8%	2-5 - 40,68% 5-10 - 43,7%
A.2.2	Encosta convexa	2-5%	A.2.2	Retilínea - 73,9% Côncava - 16,6%	2-5 - 24,8% 5-10 - 58,36%
B.1.1	Planície Aluvial	<2%	B.1.1	Retilínea - 65,5% Côncava - 23,6%	2-5 - 30,4% 5-10 - 48,02%
B.1.2	Encosta convexa	2-5%	B.1.2	Retilíneo - 69,1% Convexa - 18,2%	2-5 - 24,1% 5-10 - 56,18%
B.1.3	Encosta côncava	5-10%	B.1.3	Retilínea - 76% Convexa - 14,2%	5-10 - 62% >10 - 23,65%
B.3.1	Encosta côncava	>10%	B.3.1	Retilínea - 88% Côncava - 9,2%	2-5 - 58,28% 5-10 - 24%
B.3.2	Encosta convexa	5-10%	B.3.2	Retilínea - 76,5% Convexa - 14%	2-5 - 52% 5-10 - 36,83%

2.1. Suscetibilidade a erosão

Para delimitação preliminar de áreas suscetíveis à erosão, as informações de declividade e de forma de terreno foram classificadas segundo a Tabela 2. Como a forma do terreno é definida a partir de curvatura horizontal e curvatura vertical, essas foram analisadas em separado. Os atributos foram classificados segundo os níveis “baixa”, “média” e “alta” suscetibilidade sendo atribuídos os valores 1, 2, e 3, respectivamente.

Tabela 4 - Atributos considerados para suscetibilidade à erosão.

Declividade		Curvatura Vertical		Curvatura Horizontal	
<5%	1	Côncava	1	Convergente	1
5-10%	2	Retilínea	2	Planar	2
>10%	3	Convexa	3	Divergente	3

As combinações das classes de atributos somam valores entre 3 e 9, os quais foram reclassificados nos graus “baixa suscetibilidade” - total de 3 a 4, “média suscetibilidade” - total de 5 a 6, e “alta suscetibilidade” - total de 7 a 9. A escolha por um intervalo maior de soma para a classe “alta suscetibilidade” se deveu a uma postura mais conservadora com maior possibilidade de proteção dos recursos naturais.

2.2. Suscetibilidade a inundações

Para delimitação preliminar de áreas suscetíveis a inundações, as informações de declividade e de forma de terreno foram classificadas segundo a Tabela 3. Também neste caso os atributos curvatura horizontal, curvatura vertical, e declividade foram classificados segundo os níveis “baixa”, “média” e “alta” suscetibilidade sendo atribuídos os valores 1, 2, e 3, respectivamente.

Tabela 5 - Atributos considerados para suscetibilidade a inundações.

Declividade		Curvatura Vertical		Curvatura Horizontal	
>10%	1	Convexa	1	Divergente	1
5-10%	2	Retilínea	2	Planar	2
<5%	3	Côncava	3	Convergente	3

As combinações das classes de atributos resultam valores entre 3 e 9, reclassificados nos graus “baixa suscetibilidade” - de 3 a 4, “média suscetibilidade” - de 5 a 6, e “alta suscetibilidade” - de 7 a 9. Assim como tinha sido feito no caso da suscetibilidade à erosão, se adotou uma postura mais conservadora ao definir um intervalo maior de soma para a classe “alta suscetibilidade”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se observar a partir da figura 3 que as áreas mais suscetíveis à erosão se concentram nos elementos de terreno A.1.1, A.2.1., A.2.2., B.3.1, e B.3.2. Os quais se localizam na área urbana e nos limites dessa com a área de expansão, exatamente regiões com maior tendência de ocupação urbana no município.

Além disso, os elementos de terreno A.2.1 e A.2.2 exibem solos de textura arenosa e perfis de solos bastante espessos, como se observa na Tabela 5, Condições muito favoráveis a processos erosivos. Já os elementos B.3.1 e B.3.2, apresentam perfis de solos menos espessos e com textura média a argilosa, condições menos críticas para erosão. A unidade A.1.1 se situa nos limites da área

urbana e apresenta solos arenosos, porém com camadas menos espessas o que diminui seu potencial erosivo.

CARTA DE SUSCETIBILIDADE DE EROSÃO

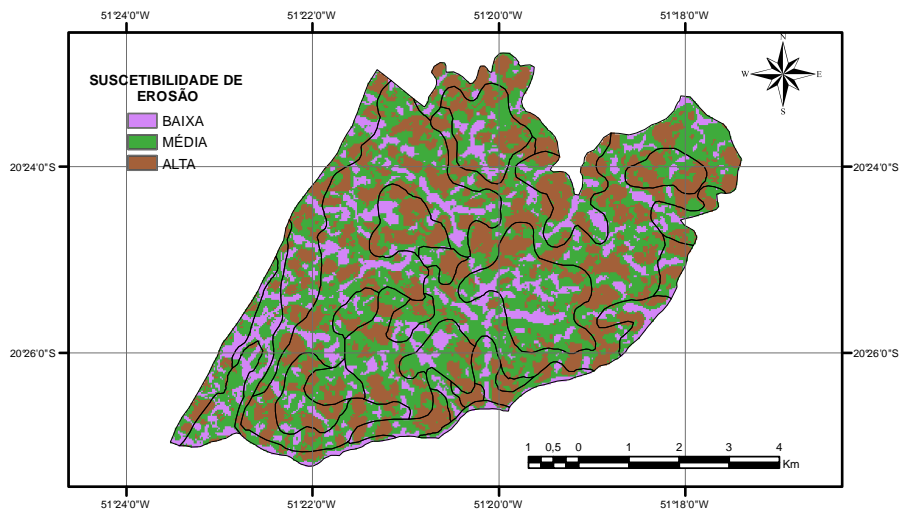


Figura 3 - Carta de suscetibilidade a erosão.

A carta de suscetibilidade a inundações, representada pela figura 4, apresenta que as áreas mais suscetíveis a inundações se concentram nos elementos de terreno A.1.2, A.1.3., A.2.2., B.1.1, e B.3.1. Parte desses elementos (A.1.2, A.1.3 e A.2.2) se localiza na área urbana e nos limites com a área de expansão urbana, em áreas onde são comuns lançamentos do sistema de drenagem urbana do município em córregos locais.

Os demais elementos se localizam na área de expansão urbana nas áreas de vales mais planos e amplos potencializando a ocorrência de áreas de várzeas (elementos B.1.1 e B.3.1), onde as inundações podem ser ainda mais intensas em função da menor espessura dos solos e texturas médias a argilosas.

CARTA DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

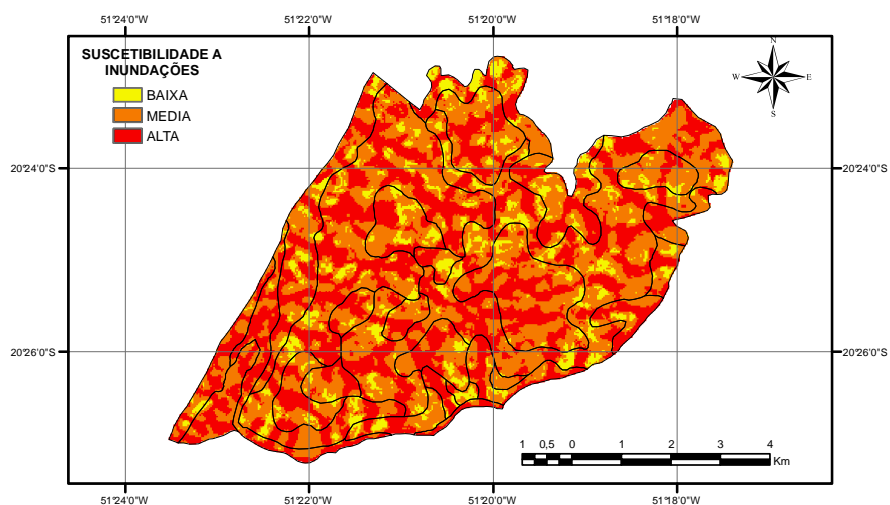


Figura 4 - Carta Preliminar de suscetibilidade a inundações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos indicam que o uso de informações derivadas de dados do sensor SRTM resulta em informações confiáveis para caracterização do meio físico, em especial em escalas de maior detalhe.

Através da elaboração da carta de suscetibilidade a erosão, podemos perceber que as áreas mais suscetíveis à erosão se localizam na área urbana e limites desta com a área de expansão, regiões com maior tendência de ocupação e que exibem solos de textura arenosa e perfis de solos bastante espessos, condições muito favoráveis a processos erosivos.

Em relação à carta de suscetibilidade a inundação, concluímos que parte das áreas mais suscetíveis a inundações se concentram nos limites de área urbana e de expansão urbana com potencial aumentado pelos lançamentos do sistema de drenagem urbana. As áreas de alta suscetibilidade à inundações que se situam na área de expansão urbana podem apresentar eventos intensos em função da menor espessura dos solos e texturas mais finas.

Nesse contexto, em função das características do meio natural da área a prevenção quanto à ocorrência de erosões e inundações pode ser feita com a definição de critérios técnicos para a ocupação das áreas, seja do ponto de vista de legislação como de obras de drenagem que reduzam o potencial de ocorrência dos processos. Critérios de ocupação urbana que levem em consideração as condições naturais devem ser previstos no Plano Diretor do Município.

REFERÊNCIAS

- ESRI. *ARCGIS™ 10.0*. ESRI, 2011.
- LOLLO, J.A. (1998). Caracterização geotécnica da área de expansão urbana de Ilha Solteira (SP) com o uso de formas de relevo. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA*, 3, 1998, Florianópolis. Anais..., Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Florianópolis, (anais em mídia eletrônica – CD).
- LOLLO, J.A. (1999). *Avaliação do potencial de utilização de redes neurais artificiais no processo de avaliação do terreno com vistas à caracterização do meio físico*. Ilha Solteira, SP. FEIS: Relatório de Pesquisa FAPESP, processo nº 1996/07608-7. 88p.
- LOLLO, J.A. & ZUQUETTE, L.V. (1998). *Avaliação do terreno aplicada ao mapeamento geotécnico*. São Carlos: EESC/USP. 1998. 46p. Notas de Aula (Pós-graduação em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LOLLO, J.A. & ZUQUETTE, L.V. (1998). Terrain evaluation in warm climates: methodological proposition. In: *CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT*, 8, 1998, Vancouver – Canada. Proceedings..., International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), Vancouver, v. 2, p. 913-918.
- MOTA, S. (1995). *Preservação e conservação de recursos hídricos*. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES. 187p.
- VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D.F. (2008). Topographic modeling of Marajó Island with SRTM data. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 9, p. 53-63.
- VALERIANO, M.M. (2008). *TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. São José dos Campos, SP. INPE: Relatório de Pesquisa CNPq, processo nº 306021/2004-8 (NV). 75p.