



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO DO CIRCUITO DAS FRUTAS DO ESTADO DE SÃO PAULO A PARTIR DE MAPAS TOPOGRÁFICOS E IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Adalgiso Alves Camargo **Junior**¹; Sergio **Galdino**²; Carlos Fernando **Quartaroli**³; Ivan André **Alvarez**⁴

Nº 17501

RESUMO – Com o objetivo de gerar um modelo digital de elevação (MDE) e avaliar as classes de relevo na área do Circuito das Frutas Paulista, foram usados arquivos vetoriais de curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica. O arquivo da rede hidrográfica, fornecido pela Agência Nacional de Águas (ANA), foi previamente sobreposto à imagem de satélite de alta resolução espacial, georreferenciada e ortorretificada. Deslocamentos da rede hidrográfica em relação aos canais de drenagem e cursos d'água visualizados na imagem foram corrigidos. Também foi usado na modelagem arquivo com a delimitação dos corpos d'água traçados sobre a mesma imagem. O MDE foi gerado pelo interpolador Topo to Raster do ArcGIS 10.3. A partir do MDE obtido, foi gerado o mapa de declividades e analisada a distribuição espacial das classes de relevo na área de estudo. Constatou-se que a rede hidrográfica fornecida pela ANA é adequada para a geração de MDE juntamente com dados de altimetria, por ser topologicamente consistente e representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios. Entretanto, para melhor representação do relevo pelo MDE, propõe-se o uso de imagens de alta resolução espacial ortorretificadas, para corrigir eventuais erros de deslocamento da rede de drenagem, bem como para mapear corpos d'água. O MDE gerado apresentou menos rugosidades que o modelo digital de superfície do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), em virtude do efeito da vegetação e de edificações sobre os dados de altimetria do SRTM. O relevo ondulado (declividades de 8% a 20%) é o que mais ocorre na área estudada (cerca de 1/3).

Palavras-chave: geotecnologia, topografia, declividade, hidrografia, curva de nível, relevo.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Geografia, PUC, Campinas-SP; adalgiso.camargo@colaborador.embrapa.br.

2 Orientador: Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP; sergio.galdino@embrapa.br.

3 Colaborador: Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

4 Colaborador: Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.



ABSTRACT - *With the aim of producing a digital elevation model (MDE in Portuguese) and evaluating relief classes at 'Circuito das Frutas Paulista', we used vector files of contour lines, spot elevations, and hydrographic network. The hydrographic network file, produced by the Brazilian National Water Agency (ANA), was previously overlapped with a georeferenced, orthorectified, high-resolution satellite image. The hydrographic network was compared against drainage channels and water bodies, and all offsets detected were corrected. A file containing the contour of water bodies drawn over the same image was also used to produce the MDE, which was created using the Topo to Raster interpolator in ArcGIS 10.3. The MDE was used to create the slope map and to analyze the spatial distribution of the relief classes at the study area. We detected that the hydrographic network provided by ANA is suitable for use in MDEs along with altimetry data, since it is topologically consistent and correctly depicts the rivers' hydrologic flow. However, for the MDE to better represent the relief, we indicate the use of orthorectified, high-spatial-resolution images, in order to correct occasional offset errors in the drainage network, as well as to map water bodies. The MDE produced showed less roughness than the digital surface model from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), due to the effects of vegetation and buildings on SRTM's altimetry data. The slopings between 8% and 20% are those which occur the most at the study area (nearly 1/3).*

Keywords: geotechnology, topography, slopiness, hydrography, contour line, relief.

1 INTRODUÇÃO

Os modelos digitais de elevação (MDE) e de superfície (MDS) são normalmente usados para a representação tridimensional do relevo em um sistema de informações geográficas (SIG). Para alguns autores, como Correia (2008), a principal distinção entre esses modelos é que o MDE representa a altitude do terreno no nível da superfície do solo e o MDS inclui também a elevação da vegetação, de edificações, etc. O MDE, portanto, representa o relevo com mais exatidão, o que o torna recomendável para estudos hidrológicos, pois possibilita uma delimitação mais precisa de bacias hidrográficas, canais de drenagem, mapeamento da declividade do terreno, etc.

O MDE pode ser gerado a partir da interpolação, em ambiente SIG, de informações digitais (arquivos vetoriais) extraídas de cartas topográficas contendo curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica e corpos d'água (lagos, represas, etc.). Entretanto, deve-se atentar para o fato de que



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

a rede hidrográfica e os corpos d'água, com o decorrer dos anos, podem apresentar mudanças consideráveis na sua localização e traçado, muitas vezes em decorrência da ação humana. Para contornar esse problema, uma alternativa é a correção dessas informações a partir de imagens georreferenciadas, atualizadas e de alta resolução espacial, que oferecem maior acurácia ao MDE.

O projeto de pesquisa “Geotecnologias para incrementar a competitividade e sustentabilidade da agricultura familiar no Circuito das Frutas do Estado de São Paulo – GPAF”, integrante do Sistema Embrapa de Gestão, está desenvolvendo estudos em municípios paulistas onde se concentra o cultivo de espécies frutíferas. Os municípios são: Atibaia, Indaiatuba, Itatiba, Itupeva, Jarinu, Jundiaí, Louveira, Morungaba, Valinhos e Vinhedo. Nessa área, é fundamental a geração de um MDE para a derivação de parâmetros geomorfométricos, como a declividade do terreno e a orientação de encostas, úteis para a indicação e o mapeamento de áreas aptas ao cultivo de frutas e outras atividades agrícolas, bem como para a avaliação e prevenção de impactos ambientais decorrentes da atividade agrícola, como a erosão e perda de solos.

O objetivo deste trabalho foi gerar um modelo digital de elevação e um mapa de declividades do terreno em ambiente SIG para a área do Circuito das Frutas do Estado de São Paulo a partir de dados de altimetria obtidos de cartas topográficas digitais, e testar o uso da rede hidrográfica fornecida pela ANA, corrigida com imagens de alta resolução espacial, para acrescentar informação que possa melhor representar as formas de relevo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada entre as coordenadas UTM (fuso 23, meridiano central 45° O, *datum* SIRGAS 2000) 7.418.420 m S e 7.474.145 m S, 263.386 m O e 353.701 m O, com aproximadamente 2.386 km² e estendendo-se por cerca de 56 km no sentido Norte-Sul e 90 km no sentido Leste-Oeste. Os municípios do Circuito das Frutas e a sua localização no Estado de São Paulo são mostrados na Figura 1. As áreas dos municípios e os percentuais em relação à área total do Circuito são apresentados na Tabela 1.

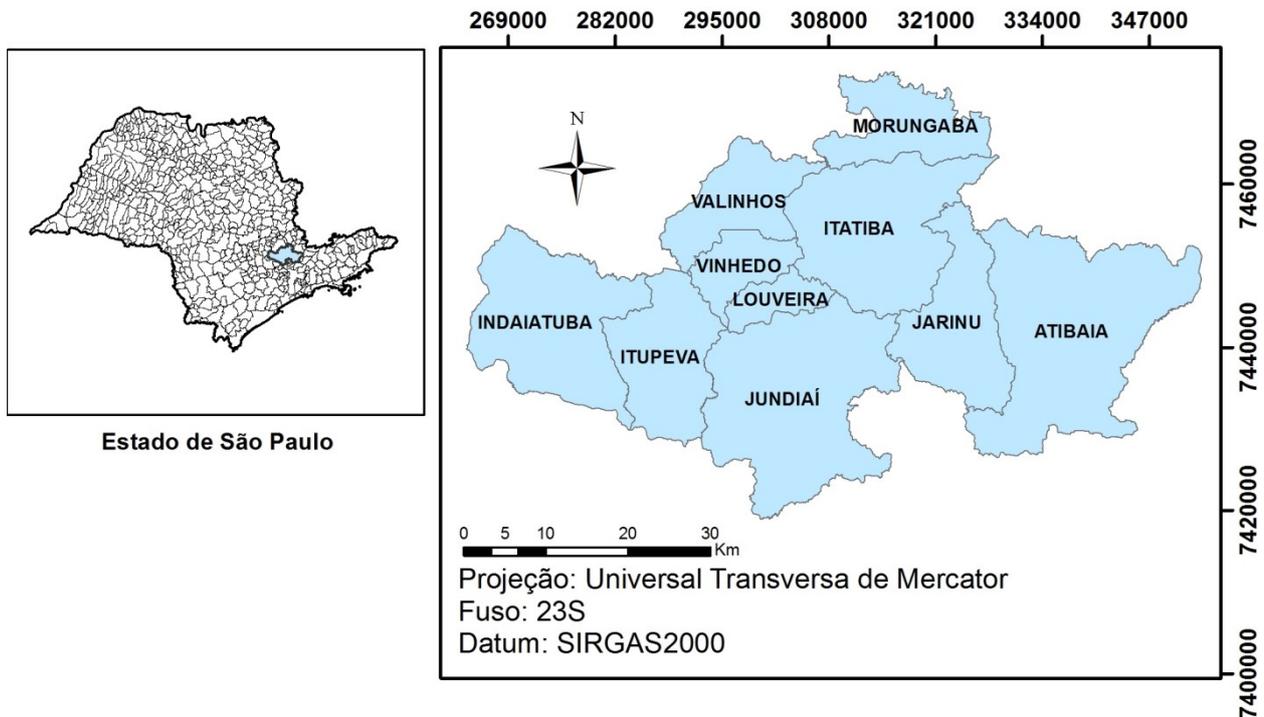


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado de São Paulo, com representação dos municípios.

Tabela 1. Áreas dos municípios do Circuito das Frutas em km² e percentuais em relação à área total do Circuito.

Município	Área		Município	Área	
	km ²	%		km ²	%
Louveira	55,14	2,31	Jarinu	207,63	8,71
Vinhedo	81,63	3,42	Indaiatuba	312,19	13,09
Morungaba	146,76	6,15	Itatiba	322,25	13,51
Valinhos	148,61	6,23	Jundiaí	431,24	18,08
Itupeva	200,88	8,42	Atibaia	478,45	20,06
			TOTAL	2.384,78	100,00

As classes de solos da área de estudo, segundo o levantamento pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999), são os Cambissolos, associados a relevos mais planos; Argissolos, associados a relevos mais acidentados, e Latossolos, normalmente situados em relevo plano a suave-ondulado, com declividades que raramente ultrapassam 7%, o que facilita a mecanização.

2.2 Geração do MDE

Para gerar o MDE, foram utilizados arquivos vetoriais contendo curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica e corpos d'água. A metodologia adotada foi adaptada de Camargo



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

Junior et al. (2016), diferenciando-se em relação à fonte da rede hidrográfica utilizada para a composição do modelo.

As curvas de nível e os pontos cotados foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os arquivos foram baixados no formato DGN diretamente do site do IBGE (http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm). Esses arquivos foram obtidos a partir do escaneamento de folhas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000. As folhas topográficas utilizadas neste estudo estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2. Folhas topográficas na escala 1:50.000 escaneadas pelo IBGE e utilizadas neste trabalho.

Código da carta	Nome da carta	Fonte	Código da carta	Nome da carta	Fonte
SF-23-Y-A-V-3	Americana	IBGE	SF-23 - Y-A-C-III-1	Jundiaí	IBGE
SF-23-Y-C-III-2	Atibaia	IBGE	SF-23-Y-D-I-1	Piracaia	IBGE
SF-23-Y-A-VI-4	Bragança Paulista	IBGE	SF-23-Y-C-II-1	Salto	IBGE
SF-23-Y-C-II-4	Cabreúva	IBGE	SF-23 - Y-C-III-3	Santana de Parnaíba	IBGE
SF-23-Y-A-V-4	Campinas	IBGE	SF-23-Y-A-VI-3	Valinhos	IBGE
SF-23-Y-C-III-4	Guarulhos	IBGE			

Por meio de ferramentas do SIG ArcGIS 10.3 (ESRI, 2013), os arquivos vetoriais do IBGE foram convertidos para a projeção UTM, fuso 23S, *datum* SIRGAS 2000, e exportados para o formato *shapefile*. Aos arquivos vetoriais de curva de nível e pontos cotados foi adicionado atributo relativo à altitude.

Para a representação da rede hidrográfica, foi usado o arquivo vetorial em formato *shapefile* na escala de 1:50.000, proveniente da base hidrográfica ottocodificada da bacia do Rio Tietê, obtido no site da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017). Essa representação da rede hidrográfica é topologicamente consistente e representa corretamente o fluxo hidrológico dos rios.

Para gerar um MDE, Camargo et al. (2016) utilizaram a rede de drenagem fornecida pelo IBGE no formato DGN, proveniente da digitalização e vetorização das cartas topográficas na escala 1:50.000. Os arquivos relativos a essa rede hidrográfica necessitaram ser transformados do formato DGN para *shapefile*, e posteriormente necessitaram de uma série de edições no ArcGIS para corrigir linhas cruzadas, linhas que não se unem, sentido invertido do escoamento, etc. O *shapefile* da rede hidrográfica da ANA não necessitou desses ajustes, economizando assim, tempo e processamento no SIG.

Os corpos d'água foram delimitados manualmente no ArcGIS tomando como base as imagens de alta resolução espacial (50 cm) georreferenciadas e ortorretificadas do acervo da Embrapa Monitoramento por Satélite, obtidas de sensores a bordo dos satélites WorldView 2 e

GeoEye 1. Essas mesmas imagens foram usadas para editar os arquivos vetoriais da rede hidrográfica, segundo metodologia de Camargo Junior et al. (2016). A Figura 2 exemplifica os ajustes realizados na rede hidrográfica da ANA a partir das imagens de alta resolução espacial.

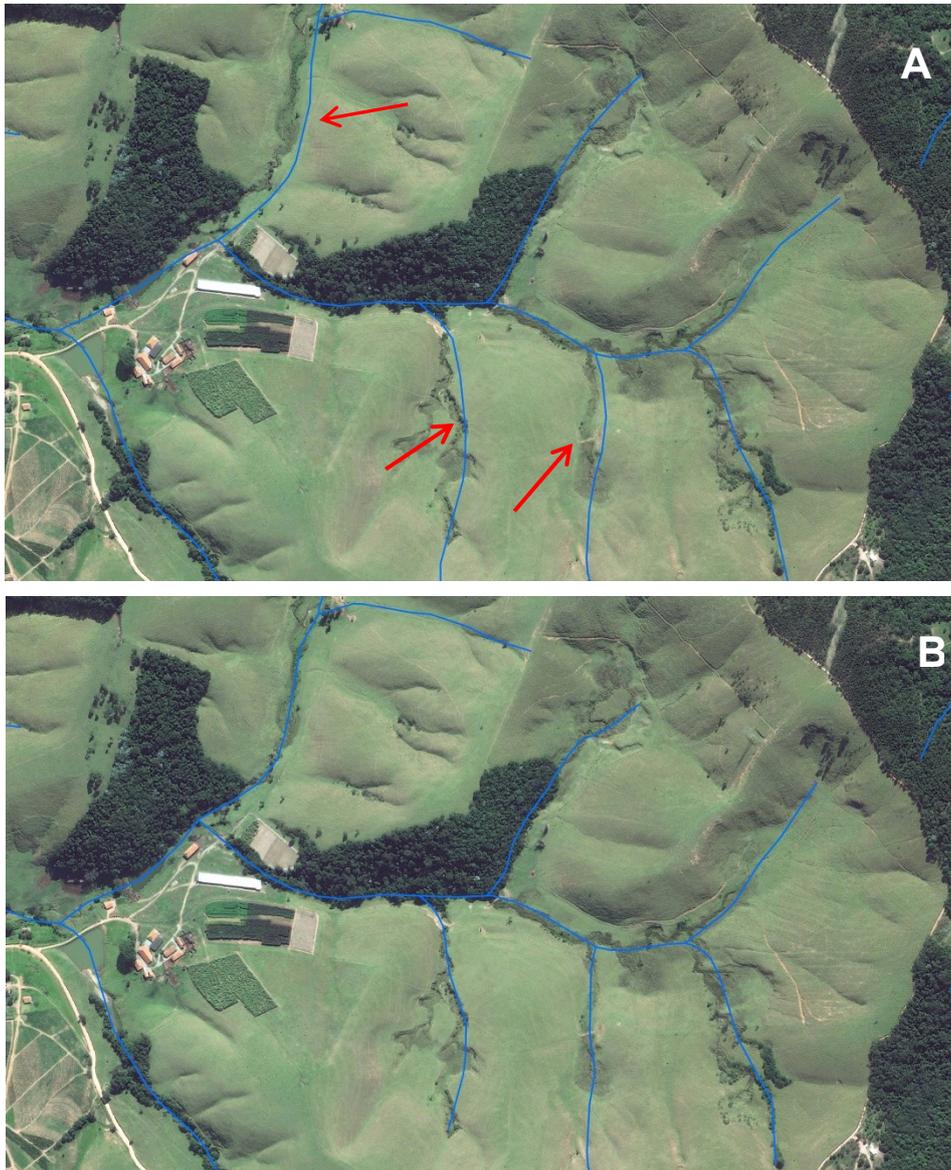


Figura 2. Hidrografia da ANA (A) e hidrografia corrigida (B).

Na geração do MDE, foi utilizado o interpolador *Topo to Raster* do ArcGIS 10.3. Essa técnica de interpolação, baseada nos trabalhos realizados por Hutchinson (1988, 1989) para o software ANUDEM, foi desenvolvida especificamente para gerar MDEs hidrológicamente consistentes a partir de dados vetoriais, tais como curvas de nível, pontos cotados, cursos de rios, corpos d'água, etc. O método utiliza a ponderação do inverso do quadrado da distância. A resolução espacial do MDE gerado pela ferramenta *Topo to Raster* foi de 5 m.

2.2 Mapeamento da declividade

Na geração do mapa de declividades em porcentagem, foram utilizados o MDE e a ferramenta *Slope* da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS 10.3. Após essa operação, foi usada a ferramenta *Reclassify*, também da extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS 10.3, para gerar o arquivo *raster* reclassificado conforme as classes de declividade do relevo propostas pela Embrapa (1979).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3, pode-se visualizar um recorte do MDE sombreado (*Hillshade*) de parte da área de estudo com sobreposição das curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica. Visualmente o interpolador *Topo to Raster* mostrou-se eficiente na geração do MDE.

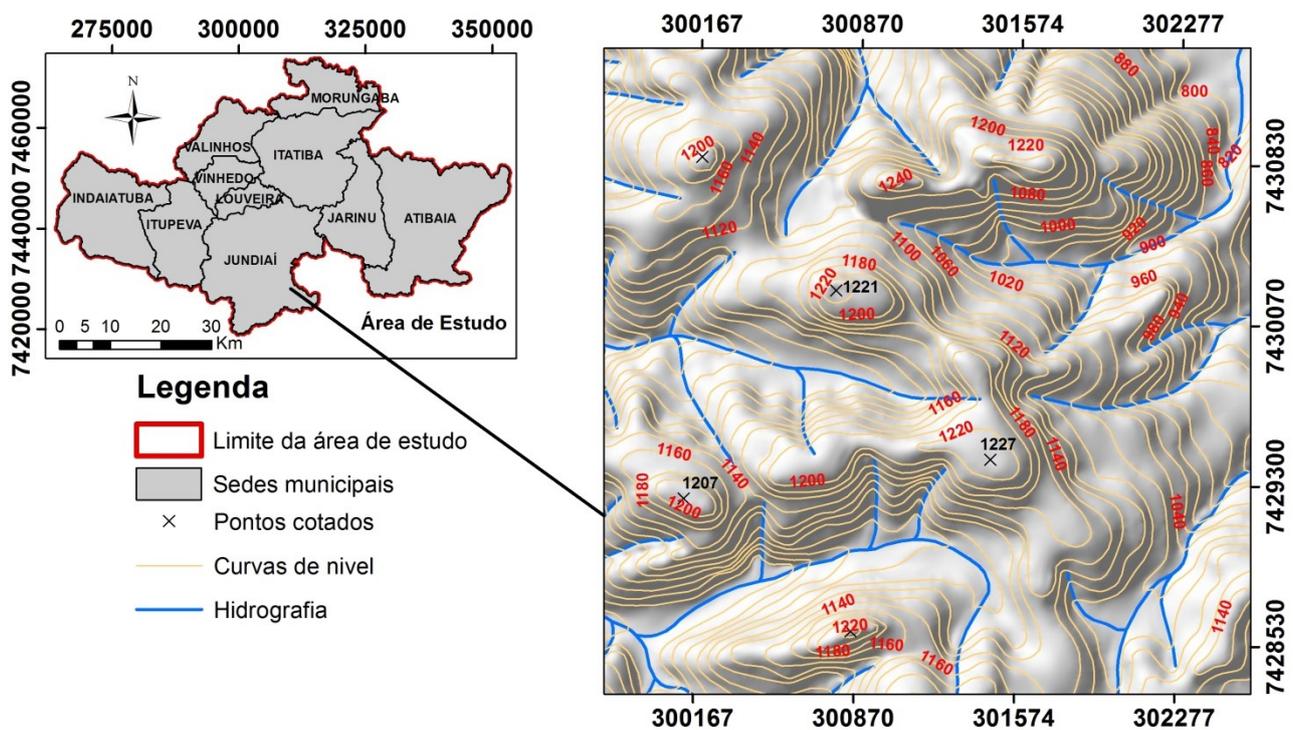


Figura 3. Recorte do MDE sombreado (*Hillshade*) com sobreposição de curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica.

A Figura 4 apresenta o MDE gerado para toda a área de estudo com o relevo sombreado (*Hillshade*), possibilitando a identificação das áreas onde o relevo é mais acidentado e a visualização de canais de alguns importantes rios da região, como o Jundiá e o Atibaia.

As cotas altimétricas da área do Circuito das Frutas, de acordo com o MDE gerado, variaram de 537,62 m a 1.407,59 m, com média de 774,78 m.

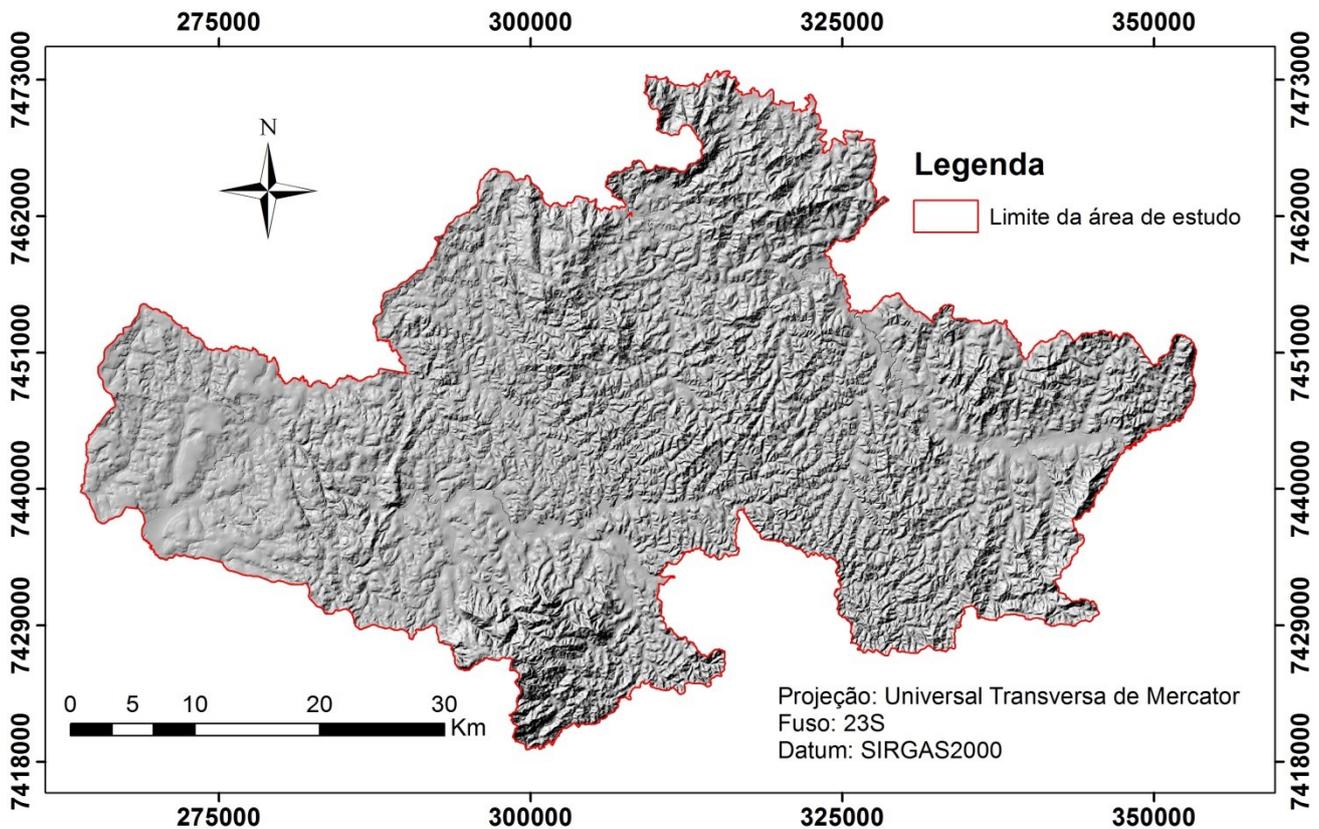
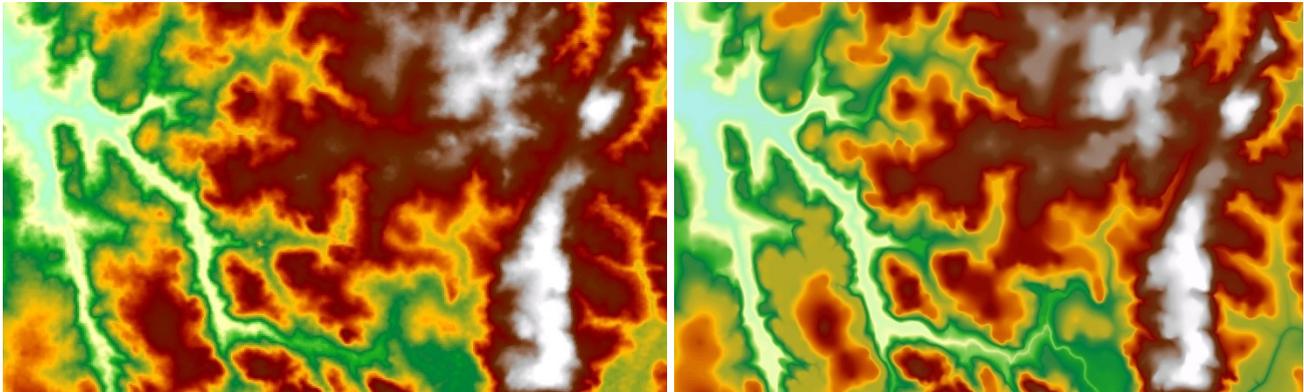


Figura 4. MDE sombreado (*Hillshade*) da área de estudo.

Não foi possível avaliar a exatidão do MDE gerado neste trabalho, pois a área de estudo não dispõe de MDEs obtidos de sensores aerotransportados do tipo laser ou radar na banda P.

Um dos MDSs mais utilizados no Brasil e no mundo é o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), em decorrência da sua boa resolução espacial de 30 m, da sua área de cobertura e da sua disponibilidade pública. Para fins de comparação, a Figura 5 mostra recortes do MDS do SRTM, do MDE gerado no presente estudo e de imagem de satélite alta resolução, todos relativos a uma mesma área do projeto GPAF. A superfície do SRTM é mais rugosa que a do MDE, em razão das variações altimétricas decorrentes da presença de edificações e de vegetação de porte mais elevado, como matas e cultivos de eucalipto, constatada pela imagem de satélite.

O MDE gerado para o Circuito das Frutas por meio da metodologia de Camargo Junior et al. (2016), inicialmente utilizada em sub-bacias no noroeste do Estado de São Paulo, reforça a conclusão dos referidos autores quanto à aplicabilidade dessa metodologia para outras regiões do estado. Isso é possível em decorrência da disponibilidade de imagens de alta resolução espacial e de folhas topográficas na escala 1:50.000 para todo o Estado de São Paulo, ou até mesmo 1:10.000 para algumas regiões do estado.



MDS – SRTM

MDE



Figura 5. Recorte do MDS do SRTM (esquerda), do MDE gerado (direita) e imagem de satélite da área (inferior).

A Figura 6 mostra o mapa de declividade gerado em porcentagem com distribuição das classes de declividade (EMBRAPA, 1979) na área do Circuito das Frutas. A Tabela 3 apresenta a distribuição das classes de declividade para a área de estudo em hectare e em porcentagem.

A declividade média da área estudada foi de 14,92%, caracterizando-se pelo predomínio dos relevos ondulado (8% a 20% de declividade) e forte ondulado (20% a 45%), que totalizam 56,96% da superfície. O relevo plano (0% a 3%) ocorre em 17,84% das terras, o relevo montanhoso (45% a 75%) ocorre em 3,86% e em apenas 0,32% da área de estudo o relevo é forte montanhoso (>75% de declividade).

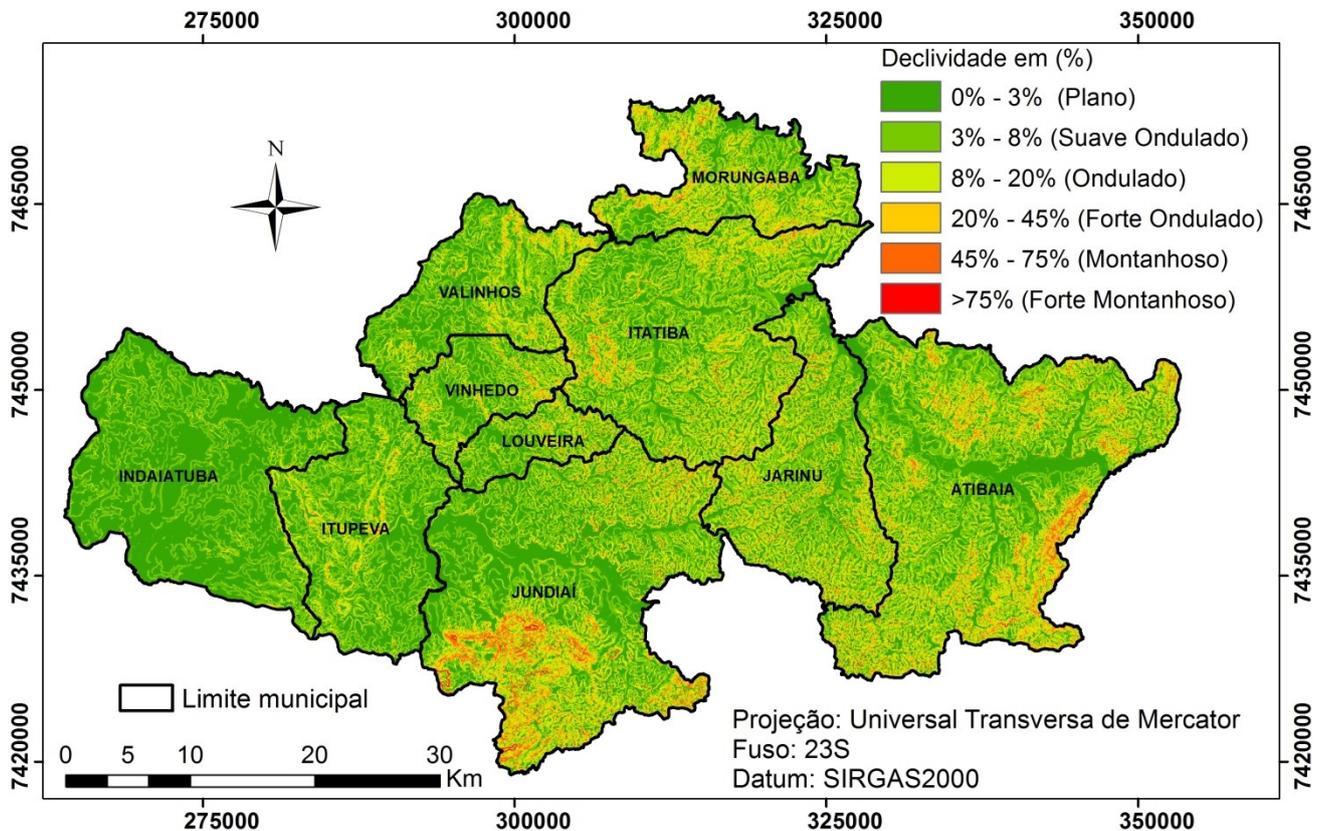


Figura 6. Mapa das classes de declividade na área de estudo.

Tabela 3. Distribuição das classes de declividade para a área de estudo.

Declividade (%)	Relevo	Área	
		(ha)	(%)
0 – 3	Plano	42.549,79	17,84
3 – 8	Suave ondulado	50.096,49	21,01
8 – 20	Ondulado	82.072,81	34,42
20 – 45	Forte ondulado	53.767,71	22,55
45 – 75	Montanhoso	9.216,31	3,86
> 75	Forte montanhoso	774,68	0,32
Total		238.477,79	100

A distribuição das classes de declividade, em porcentagem, discriminada por município, encontra-se na Tabela 4. O Município de Indaiatuba apresentou o relevo menos acidentado. Em cerca de 1/3 da sua área o relevo é plano (0% a 3%) e em aproximadamente 2/3 da sua superfície a declividade não ultrapassa o limite de 8%. Em 30% do seu território o relevo é ondulado (8% a 20%). Os municípios com relevo mais acidentado são Atibaia, Jarinu e Jundiá, localizados na província geomorfológica do Planalto Atlântico, segundo Almeida et al. (1977,1981), e o domínio morfoclimático e fitogeográfico, como salienta Ab'Saber (1967), é o de mares de morros. Nesses municípios, a declividade média foi ligeiramente superior a 17%, e em cerca de 1/3 de suas áreas a declividade do terreno foi superior a 20%.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

Tabela 4. Percentual da área de cada município em cada classe de declividade.

Município	Classe de declividade						Média (%)
	0% – 3%	3% – 8%	8% – 20%	20% – 45%	45% – 75%	> 75%	
Atibaia	13,67	16,57	34,37	29,24	5,76	0,39	17,88
Indaiatuba	32,10	34,68	29,79	3,29	0,14	0,01	6,78
Itatiba	14,72	17,7	37,46	26,80	3,19	0,14	15,78
Itupeva	21,23	24,44	39,51	13,85	0,94	0,03	11,04
Jarinu	13,04	17,54	36,44	28,43	4,33	0,22	16,89
Jundiaí	17,08	19,82	30,10	25,06	6,95	0,99	17,69
Louveira	18,90	21,55	33,74	22,40	3,21	0,20	14,30
Morungaba	12,62	15,94	34,52	32,41	4,31	0,20	17,71
Valinhos	17,31	21,97	38,81	19,87	1,97	0,08	13,30
Vinhedo	17,63	21,44	37,72	20,61	2,50	0,09	13,73

4 CONCLUSÕES

A rede hidrográfica digital em escala 1:50.000 para a Bacia do Tietê fornecida pela ANA é adequada para a geração de MDEs juntamente com dados de altimetria extraídos das cartas topográficas em escala 1:50.000 digitalizadas e vetorizadas pelo IBGE, por ser topologicamente consistente e representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios. Entretanto, para melhor representação do relevo pelo MDE, propõe-se que sejam feitas correções no arquivo da rede hidrográfica, sobrepondo-o a imagens de satélite georreferenciadas e ortoretificadas de alta resolução espacial e corrigindo eventuais deslocamentos observados em relação aos cursos d'água e canais de drenagem visualizados nas imagens. Arquivos vetoriais com a representação dos corpos d'água traçados sobre essas imagens podem ser incluídos no processo de modelagem do terreno, também com o objetivo de melhorar a representação do relevo no MDE.

O MDE obtido, quando representado graficamente, apresentou textura menos rugosa que o MDS da mesma área, construído a partir de dados do SRTM, mostrando os efeitos de edificações e da vegetação de porte alto sobre os valores de altimetria registrados nos dados do SRTM.

O MDE permitiu derivar o modelo digital de declividades a partir do qual foi construído o mapa de classes de declividade do terreno da área do Circuito das Frutas. O mapa apontou predominância de áreas com relevo ondulado e forte ondulado que, somados, compreendem cerca de 57% da área do Circuito, enquanto áreas com relevo plano e suave ondulado somam cerca de 39% da área.



11º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2017
02 a 04 de agosto de 2017 – Campinas, São Paulo
ISBN 978-85-7029-141-7

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela bolsa PIBIC concedida, e à Embrapa Monitoramento por Satélite, pela oportunidade de estágio.

6 REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas no Brasil. **Orientação**, São Paulo, n. 3, 1967.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Base hidrográfica ottocodificada da bacia do rio Tietê**. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=370&currTab=distribution>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

ALMEIDA F. F. M. de; HASUI, Y.; BRITO-NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian Structural Provinces: an Introduction. **Earth-Sci Reviews**, v. 17, n. 1/2, p. 1-29, 1981.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO-NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Recife. **Atas...** Recife: SBG/NNE, 1977.

CAMARGO, A. A.; GALDINO, S.; QUARTAROLI, C. F. Delimitação de bacias hidrográficas utilizando modelo digital de terreno gerado a partir de mapas topográficos e imagens de alta resolução espacial. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – CIIC, 10., 2016, Campinas - SP. **Anais...** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2016. p. 1-11.

CORREIA, J. D. **Metodologia para o mapeamento de feições deposicionais quaternárias por imagens orbitais de alta resolução espacial: médio vale do rio Paraíba do Sul**. 2008. 662 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10ª reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979. 83 p. (Embrapa-SNLCS. Miscelânea, 1).

ESRI. **ArcGIS for Desktop**: release 10.3. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2013.

HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL DATA HANDLING, 3., 1988, Columbus. **Proceedings...** Columbus, Ohio: International Geographical Union, p. 117-133, 1988.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3/4, p. 211-232, 1989.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo/Embrapa Solos, 1999. 64 p.