



**10º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2016**  
**02 a 04 de agosto de 2016 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-135-6**

## **DELIMITAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO MODELO DIGITAL DE TERRENO GERADO A PARTIR DE MAPAS TOPOGRÁFICOS E IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL**

Adalgiso Alves **Camargo**<sup>1</sup>; Sérgio **Galdino**<sup>2</sup>; Carlos Fernando **Quartaroli**<sup>3</sup>

**Nº 16501**

**RESUMO** – O objetivo deste trabalho foi gerar um modelo digital de terreno (MDT) e delimitar sub-bacias hidrográficas na área de estudo do projeto “Sustentabilidade, competitividade e valoração de serviços ecossistêmicos da heveicultura em São Paulo com uso de geotecnologias” (GeoHevea). O MDT foi gerado em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG) a partir de cartas topográficas digitais e de imagens de alta resolução espacial. Os arquivos vetoriais relativos a curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica e corpos d’água foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os arquivos da rede hidrográfica e dos corpos d’água do IBGE foram editados manualmente no SIG ArcGIS 10.3, tomando como base ortofotos da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (Emplasa). Na geração do MDT, foi utilizado o interpolador Topo to Raster do ArcGIS. Na delimitação das sub-bacias foi utilizada a extensão ArcHydro Tools no ArcGIS. Os resultados obtidos demonstraram que a rede hidrográfica digital das folhas topográficas disponibilizadas pelo IBGE necessita de ajustes. O MDT gerado pelo interpolador Topo to Raster apresentou menos rugosidades que o modelo digital de elevação (MDE) do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). A metodologia empregada neste estudo pode ser aplicada a outras regiões do Estado de São Paulo para a geração de MDTs. A delimitação das bacias hidrográficas da área de estudo do projeto GeoHevea identificou quatro sub-bacias: do Ribeirão Santa Bárbara, do Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas, do Ribeirão São Jerônimo e do Córrego da Arribada.

**Palavras-chave:** imagem de satélite, levantamento topográfico, sensoriamento remoto, seringueira.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Geografia, PUCC, 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.



**ABSTRACT** – *Our objective in this work was to produce a digital terrain model (DTM) and to delimit subwatersheds at the study area of the GeoHevea project ("Rubber tree production sustainability, competitiveness and valuation of ecosystem services using geotechnologies"). The DTM was created within a geographic information system (GIS) using digital topographic maps and high spatial resolution images. The vector files of contours, spot elevations, hydrographic network and water bodies were obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). IBGE's water network and water bodies files were manually edited using ArcGIS 10.3 based on ortophotos made available by Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (Emplasa). To generate the DTM we used ArcGIS' Topo to Raster interpolator. To delimit the subwatersheds we used ArcGIS' ArcHydro Tools extension. The results obtained show that the digital water network of the topographic maps made available by IBGE needs adjustments. The DTM produced using the Topo to Raster interpolator showed less roughness than SRTM's (Shuttle Radar Topography Mission) digital elevation model (DEM). The method used in this study may be applied to create DTMs of other regions of the state of São Paulo. Our delimitation of the watersheds at GeoHevea's study area identified four subwatersheds: Ribeirão Santa Bárbara, Ribeirão dos Ferreiros or das Oficinas, Ribeirão São Jerônimo and Córrego da Arribada.*

**Keywords:** satellite image, topographic survey, remote sensing, rubber tree.

## **1 INTRODUÇÃO**

Para a representação tridimensional do relevo em um sistema de informações geográficas (SIG) destacam-se o modelo digital de elevação (MDE) e o modelo digital de terreno (MDT). Para alguns autores, como Correia (2008), a principal distinção entre esses modelos é que o MDT representa a altitude do terreno no nível da superfície do solo e o MDE inclui também a elevação da vegetação, de construções, etc. O MDT é recomendado para estudos hidrológicos, pois possibilita uma delimitação mais precisa de bacias hidrográficas, canais de drenagem, mapeamento da declividade do terreno, etc.

O MDT pode ser gerado a partir da interpolação, em ambiente SIG, de informações digitais (arquivos *shapefile*) extraídas de cartas topográficas contendo curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica e espelhos d'água (lagos, represas, etc.). Entretanto deve-se atentar para o fato de que a rede hidrográfica e os espelhos d'água, com o transcorrer dos anos, podem apresentar



**10º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2016**  
**02 a 04 de agosto de 2016 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-135-6**

mudanças consideráveis na sua localização e traçado. Para contornar esse problema, uma alternativa é a edição dessas informações a partir de imagens georreferenciadas atualizadas e de alta definição espacial.

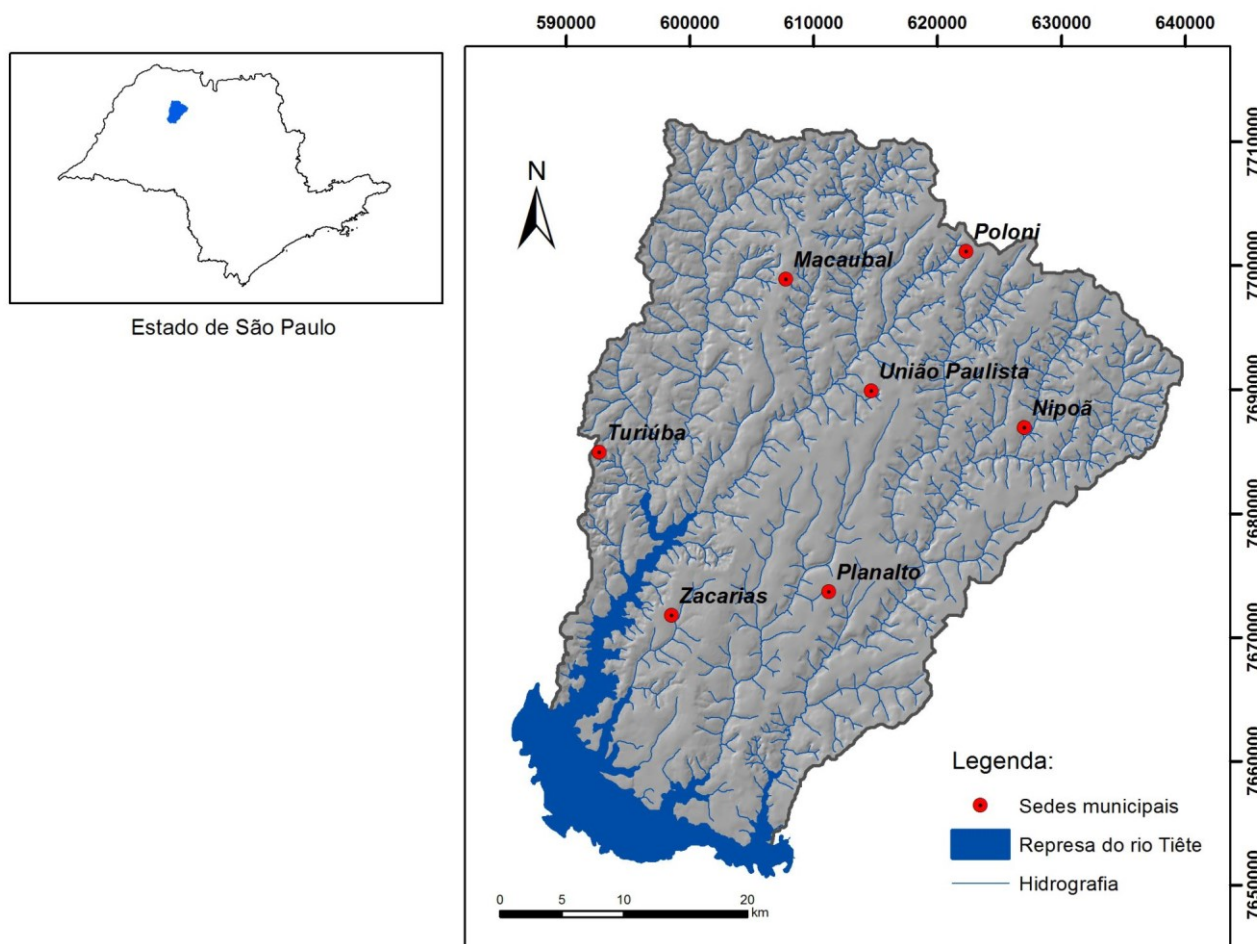
O projeto de pesquisa “Sustentabilidade, competitividade e valoração de serviços ecossistêmicos da heveicultura em São Paulo com uso de geotecnologias – GeoHevea”, integrante do Sistema Embrapa de Gestão, está desenvolvendo estudos em uma área localizada no noroeste de São Paulo, onde concentra-se o cultivo da seringueira no estado. Nessa área, que compreende sub-bacias afluentes do Rio Tietê, é fundamental a geração de um MDT para a correta delimitação das sub-bacias, obtenção do mapeamento da declividade do terreno, a predição das taxas de erosão do solo, entre outros levantamentos.

Assim, nosso objetivo neste trabalho foi delimitar sub-bacias hidrográficas na área de estudo do projeto GeoHevea utilizando um MDT gerado em ambiente SIG a partir de cartas topográficas digitais e imagens de alta resolução espacial.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

A área de estudo está localizada entre as coordenadas UTM (Fuso 22, *Datum* WGS84), 7.653.017 a 7.711.725 m de latitude Sul e 588.676 a 639.796 m de longitude. A rede hidrográfica, as sedes municipais, a represa do Rio Tietê e a localização da área de estudo no Estado de São Paulo podem ser visualizadas na Figura 1.



**Figura 1.** Localização da área de estudo no Estado de São Paulo, com representação da rede hidrográfica, sedes municipais e represa do Rio Tietê.

As classes de solos da área de estudo, obtidas a partir do levantamento pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999), são o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e o LATOSSOLO VERMELHO, que recobrem, respectivamente, 64,68% e 34,39% da superfície das sub-bacias.

A área estudada, de acordo com o presente estudo, caracteriza-se pelo predomínio dos relevos plano (0% a 3% de declividade) e suave ondulado (3% a 8%), que totalizam 84,97% da superfície. O relevo ondulado (8% a 20%) ocorre em 15% das terras, e em apenas 0,03% da área de estudo o relevo é forte ondulado (20% a 45% de declividade).



## 2.2 Geração do MDT

Para gerar o MDT foram utilizados arquivos vetoriais relativos a curvas de nível, pontos cotados, rede hidrográfica e corpos d'água, disponibilizados no formato DGN pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), baixados diretamente do site [http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm). Esses arquivos vetoriais foram obtidos pelo IBGE a partir do escaneamento de folhas topográficas produzidas pelo próprio IBGE e também pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), ambos na escala de 1:50.000. As folhas vetoriais utilizadas neste estudo estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Folhas topográficas vetoriais na escala 1:50.000 disponibilizadas pelo IBGE.

Número da carta	Nome da carta	Fonte
25962	Nhandeara	IGC
25964	Gastão Vidigal	IGC
25971	Sebastianópolis do Sul	IBGE
25974	Mirassol	IBGE
26322	Buritama	IGC
26331	Planalto	IBGE
32593	Macaubal	IBGE

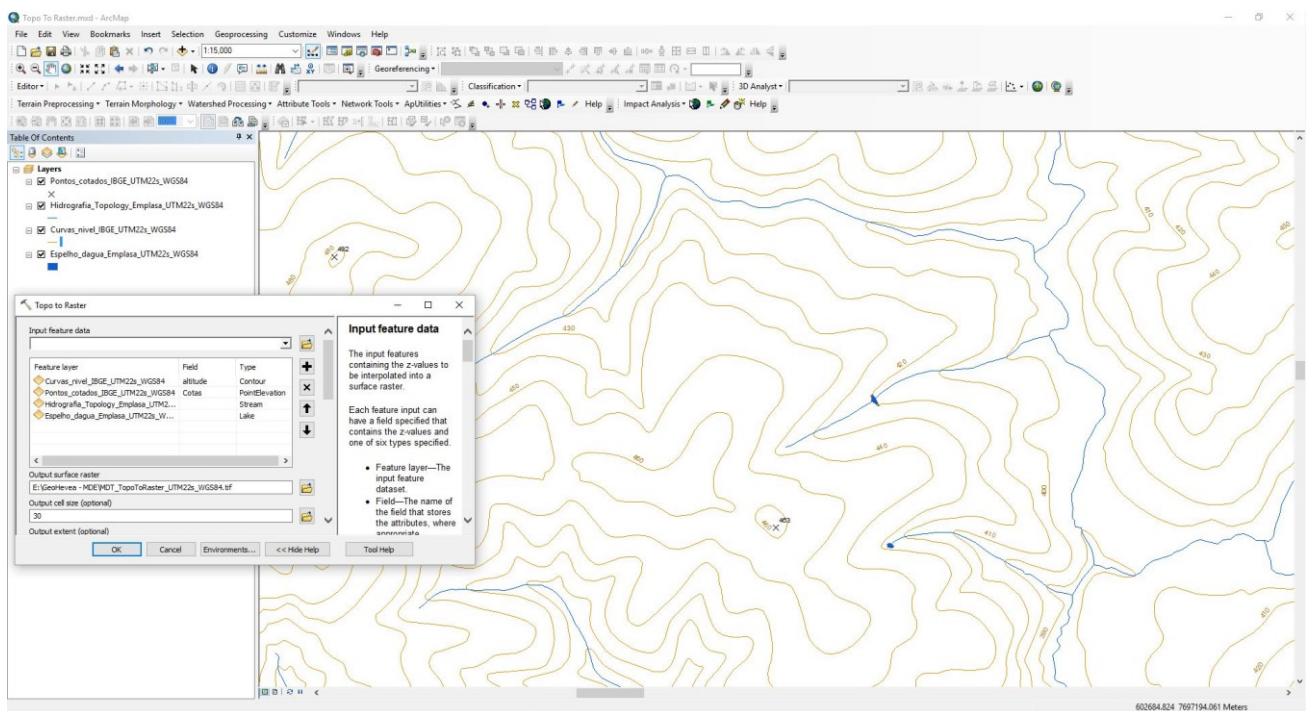
Utilizando o SIG ArcGIS 10.3 (ESRI, 2013), os arquivos vetoriais do IBGE foram convertidos para a projeção UTM, fuso 22s, *Datum* WGS84 e exportados para o formato *shapefile*. Aos arquivos vetoriais de curva de nível e pontos cotados foi adicionado um atributo relativo à altitude.

Os arquivos vetoriais da rede hidrográfica e dos corpos d'água do IBGE foram editados manualmente no ArcGIS tomando como base ortofotos da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano do Estado de São Paulo (Emplasa). Essas ortofotos apresentam resolução aproximada de 1 m e foram obtidas no período de 2010/2011. A Figura 2 exemplifica ajustes realizados na rede hidrográfica do IBGE a partir das ortofotos da Emplasa. Na rede hidrográfica editada também foram realizadas correções de topologia utilizando o ArcGIS para ajustar o sentido da drenagem de montante para jusante, de linhas sobrepostas, de linhas sem continuidade, etc.



**Figura 2.** Exemplo da rede hidrográfica do IBGE (A) e da hidrografia editada (B) com base nas ortofotos da Emplasa.

Na geração do MDT foi utilizado o interpolador *Topo to Raster* do ArcGIS 10.3. Esse interpolador foi baseado nos trabalhos realizados por Hutchinson (1998, 1989) para o desenvolvimento do software ANUDEM. Essa técnica de interpolação foi desenvolvida especificamente para gerar MDTs hidrológicamente consistentes a partir de dados vetoriais, tais como curvas de níveis, pontos cotados, cursos de rios, corpos d'água, etc. O método utiliza a ponderação do inverso do quadrado da distância. A Figura 3 ilustra a configuração empregada no *Topo to Raster* para a geração do MDT a partir dos dados vetoriais da área estudada. O MDT gerado pelo *Topo to Raster* para a área de estudo apresentou resolução espacial de 30 m.



**Figura 3.** Configuração do interpolador *Topo to Raster* para geração do MDT.

### 2.3 Delimitação das sub-bacias

Para a delimitação das sub-bacias, foi instalada a extensão ArcHydro Tools (ESRI, 2011) no ArcGIS. O primeiro procedimento no ArcHydro Tools foi recondicionar o MDT utilizando a rede hidrográfica vetorial, que consiste em aprofundar os *pixels* do MDT localizados nos cursos d'água. Esse procedimento auxilia na delimitação mais precisa das sub-bacias. As etapas realizadas no ArcHydro Tools para a delimitação das sub-bacias podem ser visualizadas na Figura 4.

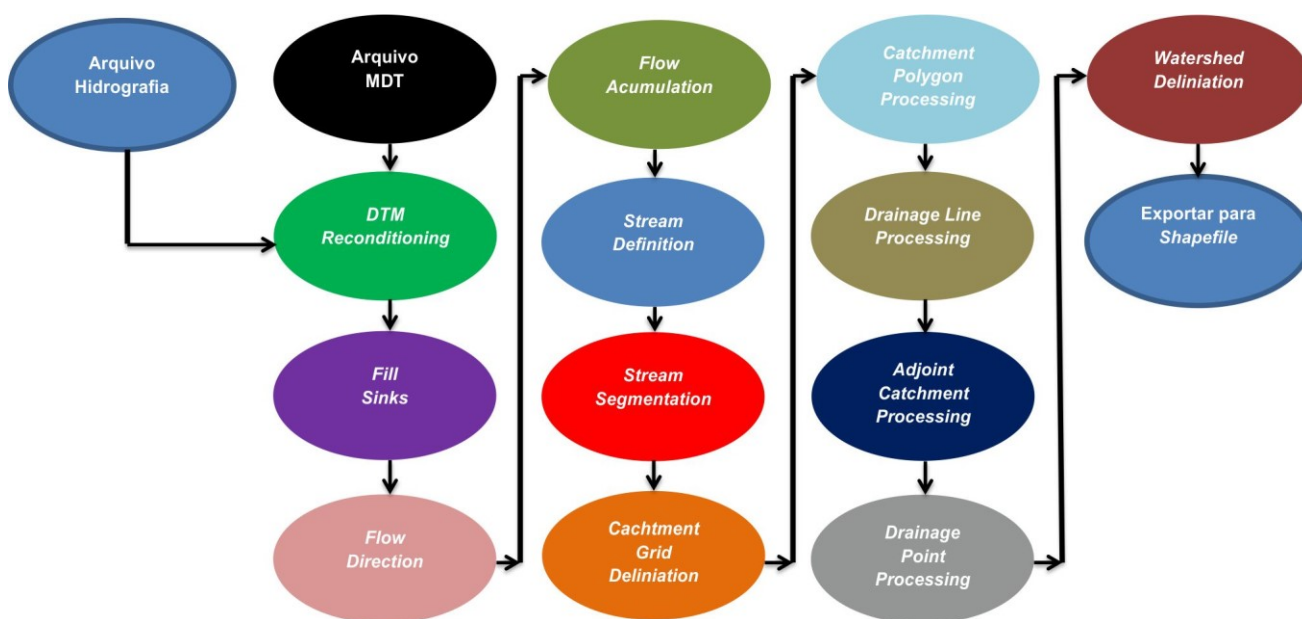


Figura 4. Fluxograma no ArcHydro para delimitação das sub-bacias.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 5 pode-se visualizar um recorte do MDT sombreado (*Hillshade*) com sobreposição das curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica. Visualmente o interpolador *Topo to Raster* mostrou-se eficiente na geração do MDT.

Um dos MDEs mais utilizado no Brasil e no mundo é o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), principalmente em decorrência da sua boa resolução espacial de 30 m e da sua disponibilidade pública. Para fins de comparação visual, na Figura 6 pode-se visualizar um recorte do MDT gerado usando o MDE do SRTM neste estudo.

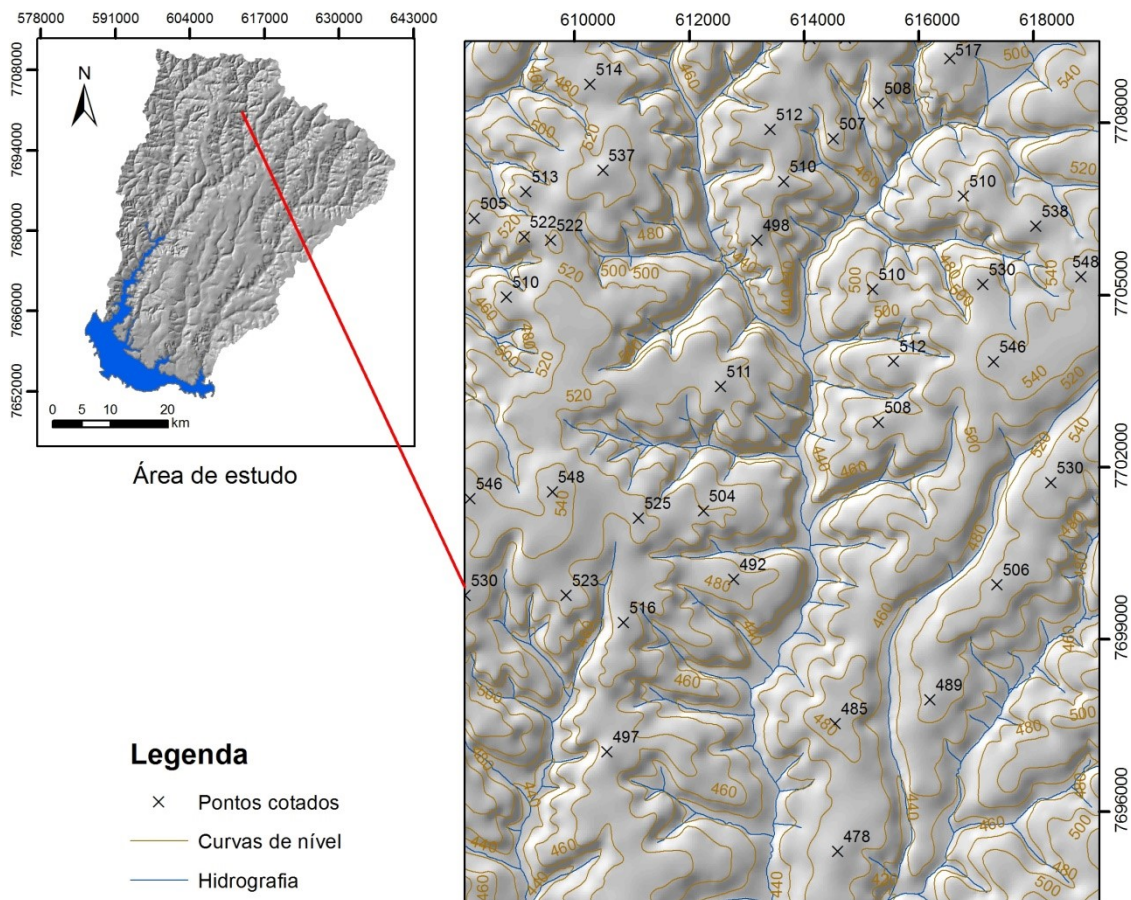


Figura 5. Recorte do MDT sombreado (*Hillshade*) com sobreposição de curvas de nível, pontos cotados e rede hidrográfica.

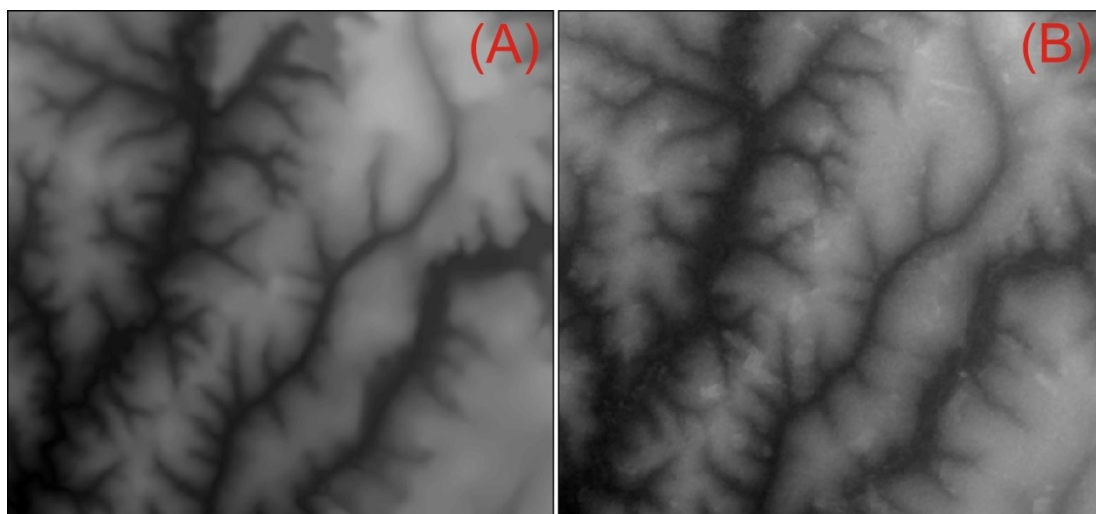


Figura 6. Recorte do MDT (A) e do SRTM (B) da área de estudo.





A Figura 6 mostra que a superfície do SRTM é mais rugosa em função das variações altimétricas associadas ao tipo de vegetação. As manchas esbranquiçadas no SRTM provavelmente são decorrentes de vegetação de porte mais elevado, tais como matas e cultivos de eucalipto, seringueira, cana-de-açúcar, etc.

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

A metodologia empregada neste estudo pode ser aplicada ao Estado de São Paulo, pois existem para ele ortofotos da Emplasa e folhas topográficas na escala de 1:50.000 ou até mesmo de 1:10.000 para algumas regiões do estado.

Os limites das sub-bacias hidrográficas, obtidos pelo ArcHydro Tools, podem ser visualizados na Figura 6.

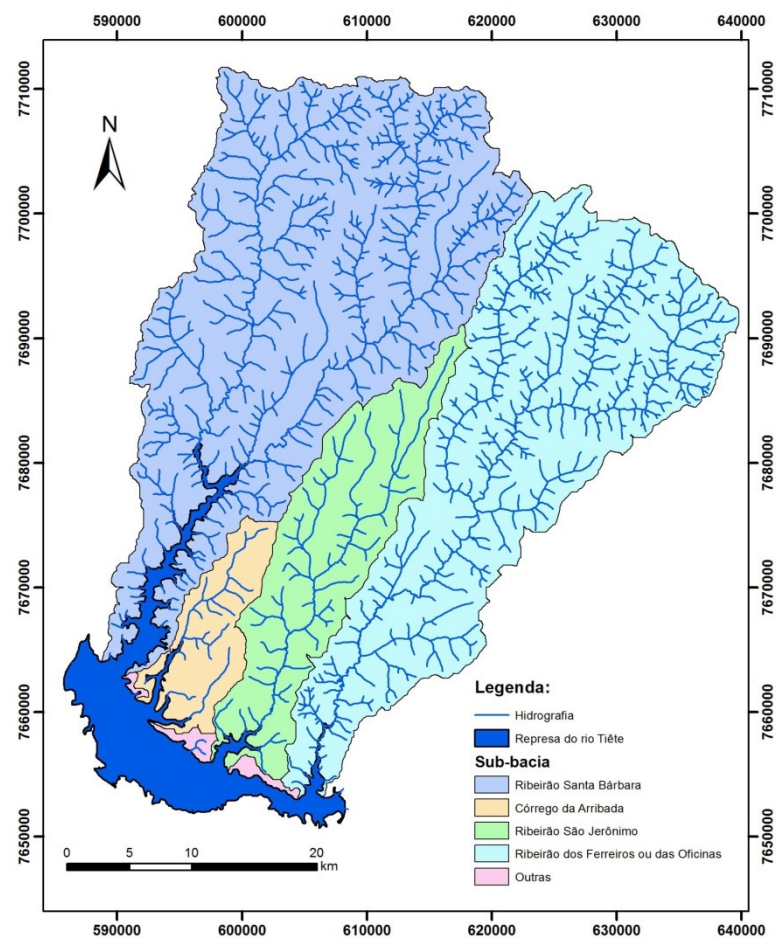


Figura 6. Limites das sub-bacias hidrográficas, com a rede hidrográfica e a represa do Rio Tietê.

As áreas das sub-bacias integrantes do projeto GeoHevea são listadas na Tabela 2.



**10º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2016**  
**02 a 04 de agosto de 2016 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-135-6**

**Tabela 2.** Área das sub-bacias em hectare (ha) e em porcentagem (%).

Sub-bacia	Área	
	(ha)	(%)
Córrego da Arribada	8.618,33	4,95
Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas	62.006,17	35,60
Ribeirão Santa Bárbara	78.721,57	45,19
Ribeirão São Jerônimo	23.525,79	13,51
Outras	1.310,50	0,75
<b>TOTAL</b>	<b>174.182,36</b>	<b>100</b>

As sub-bacias do Ribeirão Santa Bárbara e do Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas recobrem 80,79% das terras do projeto GeoHevea. Outras duas sub-bacias importantes são as do Ribeirão São Jerônimo e do Córrego da Arribada. Pequenas bacias hidrográficas que desaguam diretamente na represa do Rio Tietê estão localizadas ao sul da área de estudo e representam a menor parte das terras do projeto GeoHevea.

#### **4 CONCLUSÕES**

A rede hidrográfica digital das folhas topográficas do IBGE/IGC necessita de ajustes a partir de imagens de alta resolução. A metodologia empregada neste estudo pode ser aplicada a outras regiões do Estado de São Paulo para a geração de MDTs.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq, pela bolsa PIBIC concedida, e à Embrapa Monitoramento por Satélite, pela oportunidade de estágio em atividade de pesquisa no projeto GeoHevea.

#### **6 REFERÊNCIAS**

CORREIA, J. D. **Mapeamento de feições deposicionais quaternárias por imagens orbitais de alta resolução espacial:** médio Vale do Paraíba do Sul. 2008. 267 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

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

ESRI. **Arc Hydro Tools** - tutorial, version 2.0. New York: Environmental System Research Institute, 2011.



**10º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2016**  
**02 a 04 de agosto de 2016 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-135-6**

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 Agronômico; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 64 p.