

## Capítulo 5 – Diagnóstico dos Destaques Topográficos da Área do Manejo Florestal

---

Evandro Orfanó Figueiredo

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) na modelagem do terreno tem como finalidade processar as informações espaciais disponíveis da base de dados das imagens de sensores remotos e da coleta de campo, e posteriormente, gerar abstrações digitais das condições reais do terreno.

A Linguagem de Modelagem de Realidade Virtual (VRML Virtual Reality Modeling Language) permite a visualização de mundos virtuais totalmente interativos em tempo real utilizando arquivos que ocupam somente alguns quilobytes e equipamentos de baixo custo (CANDEIAS et al., 2001).

Os recursos tridimensionais deste tipo de visualização podem auxiliar bastante para entender melhor o relevo, revelando por exemplo, peculiaridades que condicionam a distribuição dos solos, a vegetação e até algumas características climáticas locais (CANDEIAS et al., 2001).

Com isso é possível planejar de maneira eficaz a localização de estradas florestais e pátios de estocagem de toras, além de identificar zonas restritas à instalação de obras (pontes, bueiros, estradas e pátios) e zonas inacessíveis, que devem ser preservadas em decorrência do forte impacto ambiental, quando submetido às condições de intervenção florestal.

A modelagem do terreno e o emprego de imagens de alta resolução também constituem ferramentas fundamentais para o planejamento de estradas, pátios e trilhas de arraste, ainda no escritório, transferindo-se os dados obtidos para um navegador veicular (GPS automotivo) a ser instalado no trator florestal.

Para Oliveira e Braz (1995), o arraste deve ser planejado antecipadamente com auxílio do mapa do inventário 100% (derivado do Inventário Florestal Prospectivo) e balizamento inicial no terreno, para ganhos em tempo de ciclo (reduzindo substancialmente os custos), com menor dano à floresta.

Na década de 1990, ainda não havia os recursos tecnológicos disponíveis atualmente, fazendo com que houvesse a necessidade de balizamento de trilhas de arraste. Hoje, o conjunto de técnicas adotado pelo Modeflora permite que o operador do trator florestal navegue até a árvore a ser arrastada, da mesma forma que um veículo sedan de luxo utiliza o navegador automotivo para se deslocar de um endereço para outro, numa grande cidade.

Porém, o sistema digital de exploração apresenta uma grande vantagem quando comparado com o navegador automotivo do veículo de luxo. A rota do trator florestal, planejada com grande antecedência, evita os principais obstáculos, e sempre que possível, o trajeto é realizado em nível. Isso ocorre por causa da adequada simulação da realidade do terreno do manejo florestal, por meio dos modelos digitais de elevação.

Para a obtenção de um modelo numérico do terreno compatível com a realidade de campo, deve-se ter uma elevada densidade de dados coletados na área de interesse. Segundo estimativas da Enviromental (2007), são necessários 75% do montante dos investimentos totais para criação de uma base de dados georreferenciados.

No caso do planejamento florestal pelo Modeflora, estas estimativas não são diferentes. Portanto, toda atenção deve ser dispensada para construir uma precisa e sólida base de dados ambientais, obtida no inventário florestal pré-exploratório.

Para a modelagem do terreno, o técnico pode seguir dois caminhos, porém, deve haver compatibilidade entre as alternativas, que devem ser comparadas depois de modeladas.

A primeira é construir as curvas de nível e modelar o terreno, a partir das imagens do SRTM, cuja resolução espacial é de 90 metros. A

segunda é a construção de um Modelo Numérico do Terreno (MNT), a partir de pontos barométricos cotados e georreferenciados. Esta solução gera um raster com resolução espacial entre 3 e 15 metros, o que dependerá da intensidade de coleta de campo. Seja qual for a alternativa selecionada, o planejamento florestal apresentará significativa melhora na alocação de estradas, pátios e trilhas, diminuindo custos e impactos ambientais da atividade florestal.

## **Construção das Curvas de Nível a partir do SRTM**

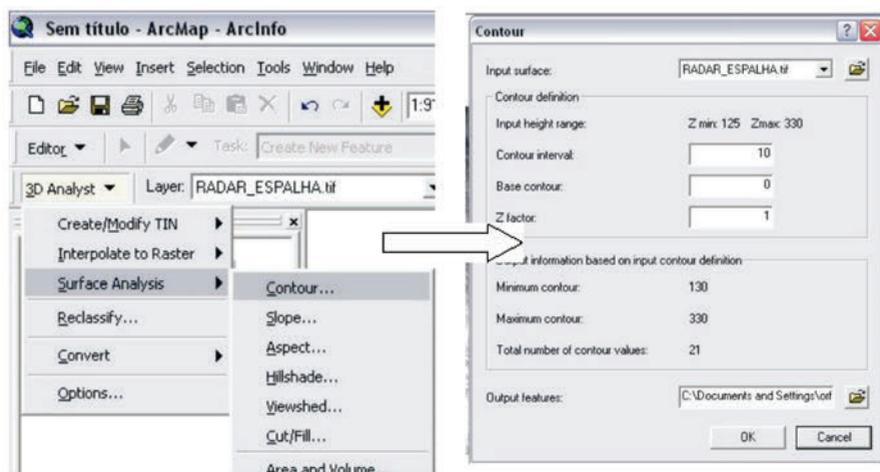
As curvas de nível, a partir do processamento das linhas de contorno, permitem conectar pontos da superfície com mesmo valor de elevação. As linhas de contorno podem ser determinadas de interseções da superfície com planos horizontais.

A projeção dessas interseções, no plano X e Y, define as curvas de contorno. Partindo-se do pressuposto que a superfície representada é uma função matemática definida no espaço X e Y então as linhas de contorno apresentam uma propriedade importante de nunca se cruzarem (FELGUEIRAS, 2007).

A partir de um modelo numérico de terreno (imagem do SRTM), utiliza-se a extensão 3D Analyst do ArcGIS para gerar malha de curvas de nível destinada ao planejamento da atividade florestal. Depois de instalar a extensão deve-se ativar a barra de ferramentas por meio do menu "Tools" >> "Extensions" >> "3D Analyst", ou clicar com o botão esquerdo do mouse na barra de ferramentas (GORR; KURLAND, 2006).

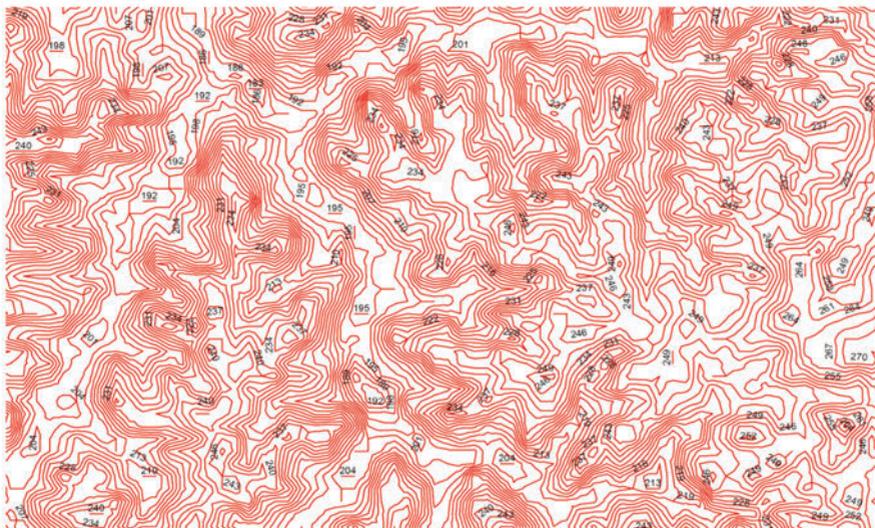
Após carregar a extensão, adiciona-se a imagem do SRTM a qual se encontra no sistema de referência geocêntrico WGS-84. Esta imagem é a base de dados para gerar a rede de curvas de nível. Para utilização desta imagem deve-se ter o mesmo cuidado que no procedimento anterior, o qual depois de geradas as curvas de nível, estas devem ser transformadas. Uma segunda opção é mudar o sistema de referência da imagem de WGS-84 para SAD-69, por meio do Arctools.

O próximo passo será abrir a janela do toolbox “3D Analyst” e acionar o processo de análise “Surface Analysis” >> “Contour”. Este procedimento abrirá uma janela denominada de “Contour”, assim, seleciona-se a imagem SRTM de interesse no elemento “Input surface” e no campo “Contour de intervalo” substitui-se a escala de 10 metros para 3 metros. A escala de 3 metros oferece um nível de detalhamento adequado para o planejamento florestal e não gera arquivos de grande extensão, o que tornaria o processamento oneroso. Para o campo “Base contour”, mantém-se a escala zero e o fator de elevação (“Z factor”) igual a 1 metro. Na saída da feição geográfica, seleciona-se a pasta e o nome do arquivo que se deseja salvar (Fig. 1).



**Fig. 1.** Etapas do procedimento para construção das curvas de nível a partir da imagem SRTM.

O produto gerado será uma rede de curvas de nível da região de interesse, com diferença de cotas de 3 metros (Fig. 2). Após este procedimento, será criado um shapefile das curvas de nível de toda região.



**Fig. 2.** Resultado final da modelagem das curvas de nível a partir da imagem SRTM, com emprego do toolset “3D Analyst” do software ArcGIS.

Com a malha de curvas de nível traçada são oferecidos, à equipe de campo, os destaques para as situações críticas de regiões colinosas, rampas de longo comprimento, áreas alagadas e locais de forte aclave ou declive. Com isso, as regiões mapeadas são transferidas para o GPS de alta sensibilidade com sinal de alerta, servindo de auxílio aos trabalhos de campo.

Somente os procedimentos de diagnóstico da hidrografia e dos destaques topográficos invertem a rotina tradicional do levantamento de campo, visto que as equipes de inventário terão a função de apenas ajustar a modelagem, por meio da marcação dos pontos de intersecção entre picadas e canais de drenagem, além de identificar, mensurar e georreferenciar as árvores.

Vale ressaltar que as inconformidades do diagnóstico prévio com a checagem de campo podem ocorrer de forma mais importante, principalmente, quando houver equívocos no transporte das informações para o GPS, como os de divergências entre os sistemas de referência do software utilizado e a configuração do receptor GPS.

## **Construção das Curvas de Nível a partir de Pontos Barométricos Cotados e Georreferenciados**

Também é possível construir um modelo numérico do terreno (MNT), com base em pontos cotados com barômetro, os quais devem ser georreferenciados com GPS de alta sensibilidade. Para esta tarefa emprega-se um GPS com barômetro.

O modelo numérico do terreno (MNT) é conceituado como qualquer imagem que armazene dados que possam ser vistos como elevação sobre a superfície. Os modelos numéricos de terreno podem ser classificados em “grades quadradas regulares” (GQR) e em “modelos poliédricos de terreno” (MPT) (Miranda, 2005).

Ludwig e Schneider (2006) avaliaram o MDT extraído do SRTM na banda X, sendo empregados pontos de controle, perfilagem e subtração de imagens na avaliação. O MDT SRTM foi analisado quanto a aspecto, declividade, ângulo de incidência local e uso do solo (áreas urbanas, agricultura, floresta, vegetação arbustiva, áreas abertas, brejos e corpos de água). O estudo concluiu que o MDT SRTM superestima a altitude em relevos movimentados e subestima em relevos planos; o erro aumenta com a declividade; o modelo apresenta erros menores em sudeste e maiores em noroeste. Por isso, a necessidade de se obter um modelo numérico do terreno (MNT) para complementar os dados dos modelos SRTM, e assim, apoiar o planejamento dos detalhes de campo.

O primeiro passo é calibrar o GPS num local de altitude conhecida. Após o GPS calibrado, o receptor deve ser mantido ligado até o local onde se realiza o inventário florestal censitário da unidade de produção anual do manejo florestal. No local do manejo, de preferência um vértice da Upa ou um ponto próximo ao acampamento da equipe de inventário, deve-se registrar uma coordenada geográfica, com tempo de apropriação de pelo menos 5 minutos, ou ainda, obter um ponto com média de 300 contagens.

Os valores das coordenadas em UTM e da cota barométrica devem ser anotados, visto que diariamente a equipe de inventário deverá calibrar o altímetro do GPS com a inserção do valor registrado pelo

barômetro no ponto selecionado. Este procedimento se faz necessário porque o barômetro está sujeito às condições climáticas, assim, a aferição diária do equipamento reduz as oscilações de registro de altitude, possibilitando a construção de um modelo com elevada compatibilidade com a imagem SRTM.

A coleta das cotas barométricas ocorrerá automaticamente no momento do registro das coordenadas das árvores inventariadas. Neste momento será registrado um valor para X (longitude), para Y (latitude) e para Z (altitude barométrica). O procedimento de transferência dos dados do GPS para o PC será detalhado no próximo capítulo.

Após descarregar as informações do GPS e transferir para o ArcGIS, os pontos correspondentes a cada árvore constituirão a base de dados para confeccionar o raster que possibilitará construir as curvas de nível.

O primeiro procedimento é abrir o shapefile das árvores do inventário com os valores de cotas barométricas. Posteriormente, será executado o "3D Analyst">"Interpolate to Raster">"Natural Neighbor Interpolation". Neste comando, abrirá uma janela denominada de "Natural Neighbor Interpolation", e para o campo "Input points" será selecionado o arquivo correspondente ao das árvores do inventário. No campo, "Height source" seleciona-se a coluna do arquivo correspondente à cota barométrica, e posteriormente, mantém-se o valor do tamanho de célula do raster a ser criado ("Cell size") e seleciona-se a pasta de saída do shapefile e o respectivo nome do arquivo.

Este procedimento criará um raster que deverá ser utilizado da mesma maneira que a imagem SRTM descrita no item anterior.

Após a construção das duas redes de curvas de nível SRTM e de pontos cotados, não haverá semelhanças no traçado das curvas, porém, haverá compatibilidade entre regiões altas, planas e baixas. Caso seja necessário, será realizada uma checagem de campo e posteriormente escolhido qual modelo a ser utilizado (modelo SRTM ou barométrico).

## **Modelagem Digital do Terreno para Planos de Manejo Florestal, com Base de Dados Altimétrica Interpolada**

O modelo digital do terreno para o manejo é criado a partir da interpolação de uma grade quadrada regular (imagem SRTM ou imagem reconstituída dos pontos barométricos), a qual permitirá a geração de uma base de dados interpolada (pontos) para geração de um “modelo poliédrico de terreno”, que no caso é uma rede triangular irregular (TIN). A mudança de GQR para MPT na construção do modelo digital deve-se a melhor estrutura do modelo TIN para modelar superfícies contínuas. A grande vantagem é que no modelo TIN não existe a regularidade amostral, ou seja, áreas onde há mudanças rápidas do terreno recebem mais pontos que as áreas planas.

Com essa técnica é possível obter um modelo digital muito mais detalhado para um planejamento florestal, visando à alocação das estradas florestais, trilhas e pátios.

A reconstituição digital do terreno é possível de ser realizada com:

- Adoção da tecnologia do Programa SRTM ou Missão Topográfica por Radar Interferométrico, o qual produziu uma grade de pontos com precisão horizontal de 90 m. A grande vantagem deste procedimento é a compatibilidade dos terrenos modelados com a hidrografia local e com as curvas de nível.
- Imagens de radar aerotransportadas. Para este procedimento deve-se ter o cuidado de avaliar se as imagens encontram-se adequadamente georreferenciadas e ortorretificadas.
- Utilização de GPS com sensores barométricos. Este procedimento consiste em retirar automaticamente um ponto barométrico por árvore inventariada. Com isso, é construída uma malha de pontos barométricos, pela qual será possível modelar o terreno (conforme descrito no item anterior). A desvantagem deste procedimento é a necessidade de calibrações freqüentes do barômetro, no intuito de reduzir a grande oscilação de leitura dos pontos cotados, cujo registro da cota é influenciado pelas condições climáticas.

Para construir o Modelo Digital do Terreno compatível com a hidrografia e com as curvas de nível, deve-se empregar o shapefile das curvas de nível geradas pela análise 3D.

A reconstituição do terreno pelo ArcGIS é feita a partir de pontos com cotas altimétrica. Estas cotas podem ter várias fontes, porém, para este procedimento será aberto o arquivo com as curvas de nível com o datum SAD-69.

As curvas de nível foram resultados da análise 3D, cujo processo ligou linhas entre cotas similares dos pixels da imagem SRTM (ou raster interpolado dos pontos barométricos). Para isso houve a necessidade de interpolar as linhas, fazendo com que linhas de cotas diferentes passassem sobre pixels com um único valor altimétrico.

Assim, um pixel poderá assumir diferentes valores de acordo com seu vizinho mais próximo. Esta interpolação da projeção das linhas das curvas de nível deve ser empregada na modelagem do terreno, visando gerar um modelo compatível com as curvas e mais suavizado, possibilitando destacar os eventos topográficos por cores e sombras.

Após carregar o arquivo de curvas de nível correspondente a toda a região, será carregado o arquivo do polígono da UPA, visando recortar a projeção das curvas apenas para área de interesse. Este procedimento reduz o tamanho dos arquivos e agiliza o processamento.

Para o recorte das curvas de nível, deve-se abrir a janela do Arc Toolbox Windows e acionar o toolbox "Analysis Tools" e o toolset "Extract". Na série de ferramentas "Extract", seleciona-se a opção "Clip". Na janela aberta, seleciona-se o arquivo com as curvas de nível da região maior correspondente à imagem SRTM no elemento "Input Features". No "Clip Features", adiciona-se o polígono da UPA e os outros campos devem seguir o padrão (Fig. 3). Com esse procedimento foi criado um arquivo de curvas de nível referente ao polígono da UPA, com os mesmos valores de cotas altimétricas que o arquivo original.

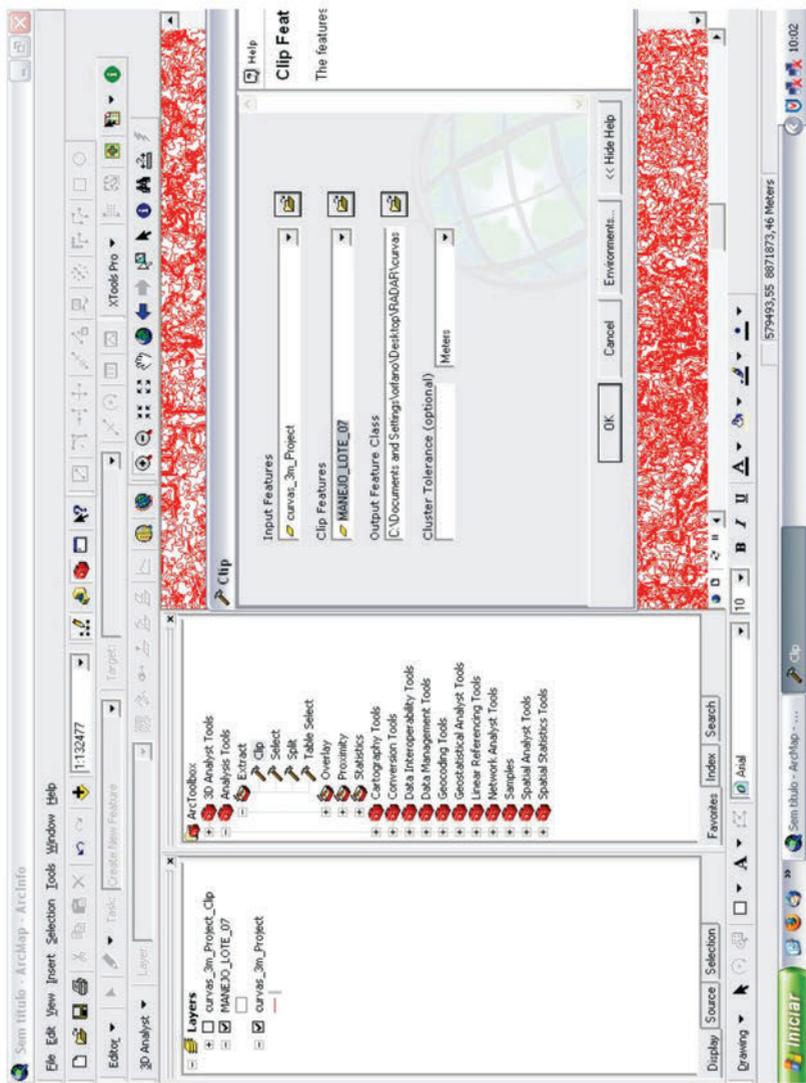


Fig. 3. Procedimento para extrair as curvas de nível contidas no polígono da UPA do manejo florestal pelo software ArcGIS.

Visando suavizar as curvas de nível para geração do modelo digital é necessário editar as curvas por meio da ferramenta "Editor">>"Start Editing". Posteriormente, ativa-se a barra de ferramenta "Advanced Editing" clicando com o botão esquerdo do mouse.

Assim, deve-se acionar a ferramenta "Edit tools" e no "Target" da barra de ferramentas "Editor" selecionar o arquivo das curvas de nível da UPA. Em seguida, basta marcar com o mouse (acionando na ferramenta "Edit tools") todas as curvas de nível da UPA e ativar o ícone "Smooth tools" na barra de ferramentas "Advanced Editing".

Este procedimento abrirá uma pequena janela, em que é solicitado o valor máximo admissível de deslocamento da linha, objetivando suavizar os ângulos. A unidade de valor é a mesma configurada para o mapeamento, o qual representa a unidade métrica.

Na prática, o que se pretende com a suavização das linhas da curva de nível é obter uma modelagem do terreno com efeito mais próximo do natural, sem que haja distorção das informações extraídas da imagem SRTM. Portanto, o valor para o "Smooth" deve ser próximo de 1 metro.

Para gerar uma rede de pontos de cotas altimétricas correspondentes às curvas de nível da UPA, utiliza-se a extensão XTools Pro. Depois de instalar a extensão, deve-se ativar a barra de ferramentas por meio do menu "Tools" >> "Extensions" >> "XTools Pro", ou clicando com o botão direito do mouse na barra de ferramentas.

Em seguida, abre-se a janela do "Xtool Pro" e aciona-se o processo "Features Conversions">>"Convert Features to Points". No campo "Input features layer", seleciona-se o arquivo com as curvas de nível da UPA no campo "Output storage" e nomeia-se o arquivo correspondente aos pontos com cotas altimétricas referentes às respectivas curvas. Na subjanela "Points", deve-se selecionar o procedimento de marcar pontos equidistantes para um intervalo fixo igual ou inferior a 10 metros (Fig. 4). Nos demais campos, conserva-se o processamento padrão.

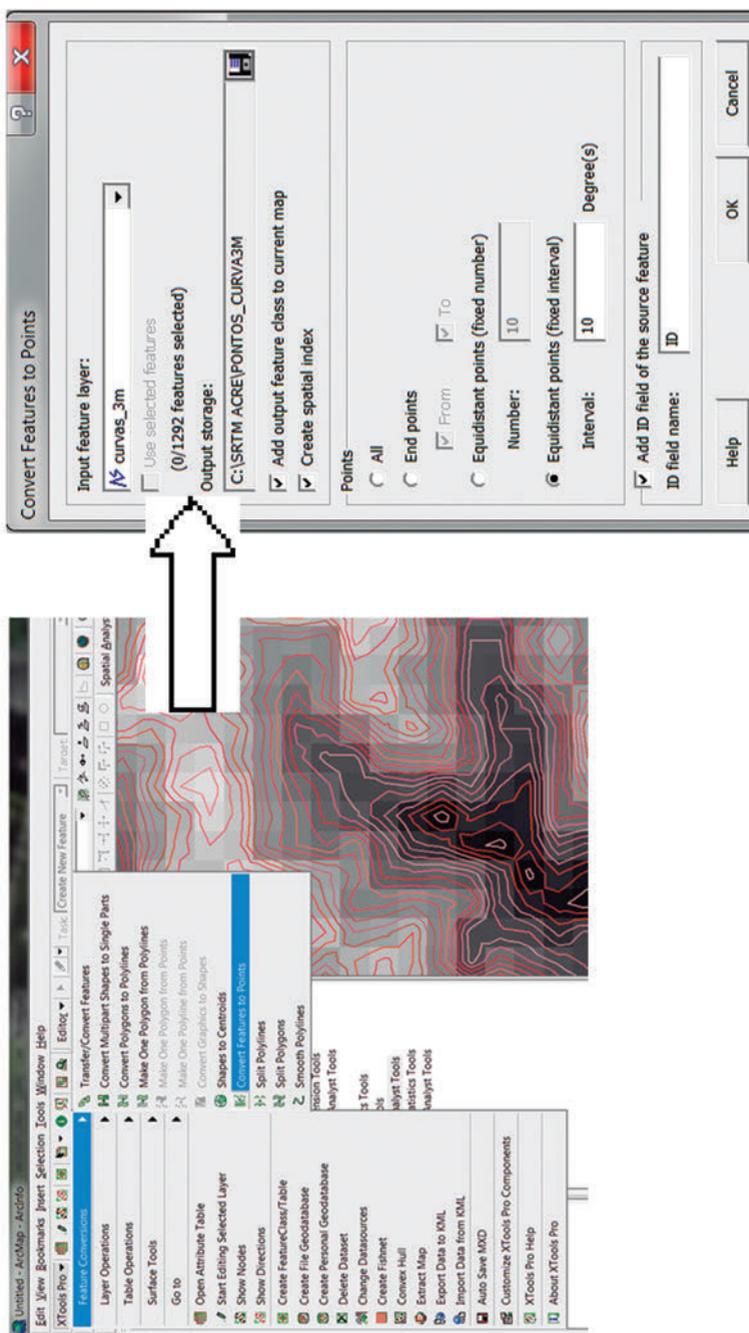
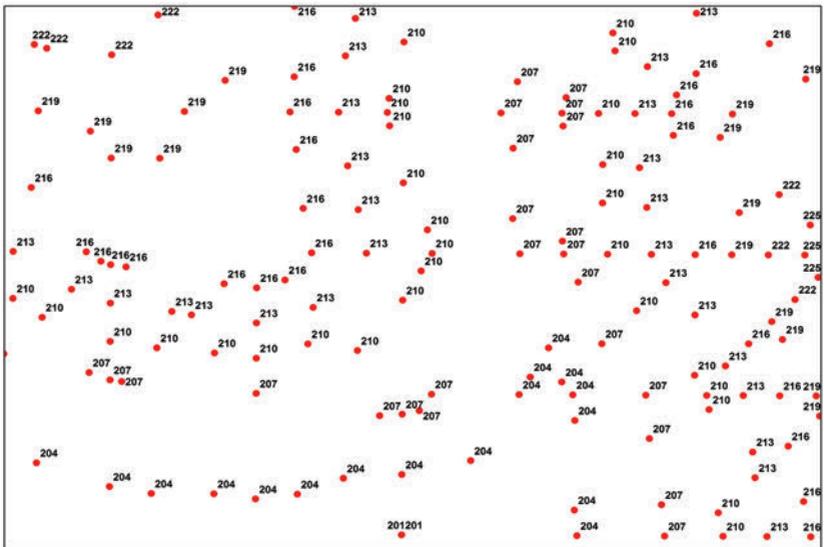


Fig. 4. Sequência do procedimento para geração de uma base de dados altimétricos (feição pontos), com distância de 10 metros entre pontos pelo software ArcGIS.

O resultado será um arquivo de pontos com valores altimétricos, utilizado na modelagem digital do terreno (com efeito suavizado).

Se fosse mantida a base de dados inicialmente obtida da imagem SRTM, teria, no processamento, um modelo digital do terreno similar à imagem SRTM, ou seja, 1.254 pontos altimétricos para uma área de 1.000 hectares. Com a base interpolada a partir das curvas de nível suavizadas, o novo modelo digital para uma área de 1.000 hectares será confeccionado sob mais de 16.000 pontos altimétricos, gerando um modelo do terreno mais próximo do natural (Fig. 5).

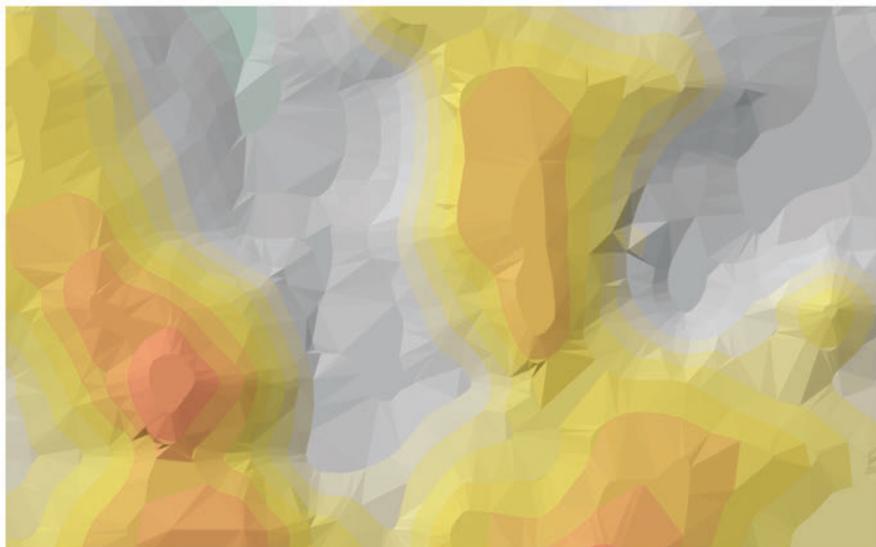


**Fig. 5.** Resultado do procedimento do "XTools Pro" para interpolar pontos na região onde será confeccionado o modelo digital de elevação do terreno.

A etapa final é a modelagem do terreno. As análises desenvolvidas sobre um modelo digital de terreno permitem visualizar os modelos em projeção geométrica plana, imagens sombreadas e imagens temáticas, calcular volumes de aterro e corte, realizar análises de perfis sobre trajetórias predeterminadas e gerar mapeamentos derivados tais como mapas de declividade e exposição, mapas de drenagem, mapas de curva de nível e mapas de visibilidade. Os produtos das análises podem, ainda, ser integrados com outros

tipos de dados geográficos objetivando o desenvolvimento de diversas aplicações de geoprocessamento, tais como, planejamento urbano e rural, análises de aptidão agrícola, determinação de áreas de riscos, geração de relatórios de impacto ambiental e outros (FELGUEIRAS, 2007).

Para isso, ativa-se a ferramenta "3D Analyst" >> "Create/Modify TIN (Modelo de Malha Triangular)">>"Create TIN From Features". Este procedimento abrirá uma janela denominada "Create TIN From Features". Para seleção de Layers, marca-se a opção referente ao arquivo de pontos interpolados. No "Setting for selected layer", conserva-se a opção "CONTOUR" para a fonte altimétrica e, para os demais itens, o processamento padrão. Posteriormente, nomeia-se o arquivo de saída pelo "Output TIN". O resultado pode ser observado na Fig. 6, destacando-se que as regiões altas do terreno são representadas pelas cores avermelhadas e as localidades baixas pelas cores azuladas.



**Fig. 6.** Modelo digital de elevação do terreno com pontos interpolados com base nas curvas de nível da área de interesse.

## Referências Bibliográficas

CANDEIAS, A. L. B.; JUNIOR, J. R. T.; FRERY, A. C.; DOS SANTOS, W. P. Modelagem de Terreno com Ferramentas da Realidade Virtual. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO- SBSR, 10., 2001, Foz do Iguacu. [Anais...]. [S.l.]: SELPER: INPE, 2001? 1 CD-ROM. p. 403-408.

ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Environmental systems Research Institute**. Disponível em: <http://www.esri.com/>. Acesso em: 20 ago. 2007.

FELGUEIRAS, C. A. **Análises sobre modelos digitais de terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas**. Divisão de Processamento de Imagens Instituto de Pesquisas Espaciais. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab\\_cientific/selper8f.pdf](http://www.dpi.inpe.br/~carlos/trab_cientific/selper8f.pdf). Acesso em: 27 ago. 2007.

GORR, L. W.; KURLAND, K. S. **GIS Tutorial. Updated for ArcGIS 9.2. Workbook for ArcView 9**, Disponível em: <http://gis.esri.com/esripress/display/index.cfm?fuseaction=display&websiteID=116&moduleID=1>. Acesso em: 22 ago. 2007.

LUDWIG, R.; SCHNEIDER, P. Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 60, p. 339-358, 2006.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425 p.

OLIVEIRA, M. V. N. d'; BRAZ, E. M. Reduction of damage to tropical moist forest through planned harvesting. **Commonwealth Forest Review**, Oxford, v. 74, p. 208-210. Oxford Forest Institute. 1995.