



Perfil de Relevo em Varredura: Procedimentos Automáticos Utilizando Sistemas de Informação Geográfica

Scaling Relief Profile: Automatic Procedures Using Geographical
Information Systems

*Felipe Pacheco Silva*¹
*Telma Mendes da Silva*²

Recebido em agosto de 2017.
Aprovado em agosto de 2018.

RESUMO

Perfis de relevo do tipo em varredura tem-se mostrado como um importante recurso metodológico no amparo a pesquisas e trabalhos de grande importância na área de geociências, principalmente nas que se ocupam do estudo do modelado terrestre e suas relações. Com isso, a técnica vem sendo empregada por profissionais ligados a esta área com intuito do reconhecimento do relevo e de sua estruturação a partir das relações lito-estruturais e tectônicas dos modelados topográficos sincretizados no perfil em varredura. O trabalho para elaboração dos perfis em varredura, apesar de envolver apenas duas variáveis (altitude e distância) ainda é uma atividade morosa, uma vez que mesmo com os avanços tecnológicos introduzidos pelos sistemas de informação geográfica (SIG's) pouco se logrou de avanço na otimização da técnica. No intuito de superar este entrave metodológico, o presente trabalho apresenta uma técnica automática para elaboração dos perfis em varredura. A área que se tomou por base para construção do perfil de varredura possui um comprimento superior a 340 km, iniciando na região do Quadrilátero Ferrífero e terminando nos Terraços Flúvio-Marinheiros do litoral fluminense. A técnica desenvolvida em ambiente digital se mostrou eficiente contribuindo para celeridade na aplicação da técnica. Os resultados obtidos foram pareados a trabalhos feitos utilizando a técnica manual, sendo constatado íntima correlação de ambos o que conferiu confiabilidade a rotina automática desenvolvida.

PALAVRAS-CHAVE: Perfil em Varredura. Método Automático. Sistemas de Informação Geográfica. Estruturação Geológico-geomorfológica.

¹Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) e membro do Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno (NEQUAT) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil.
E-mail: felipe.p@hotmail.com

²Professora Associada do Departamento de Geografia e Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG); Núcleo de Estudos do Quaternário e Tecnógeno (NEQUAT) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) Brasil.
E-mail: telmendes@globocom

ABSTRACT

Profiles in scanning have been observed as an important methodological resource to support researchers and studies of huge importance in the area of geosciences, mainly in the ones which engage the study of the terrestrial modeling and its relations. As a result, the technique has been used by professionals related to this area with the purpose of recognizing the relief and its structuring from its lito-structural and tectonic relations of the syncretized topographical model in the sweeping profiles. The task to elaborate the the sweeping profiles, despite involving only two variables (altitude and distance), it is still a time-consuming activity, since even with the technological advances introduced by the geographic information systems (GIS) little progress was achieved in the optimization of the technique. In order to overcome this methodological obstacle, this paper presents an automatic technique to elaborate the profiles in the sweep. The area which was taken as the basis for the construction of a sweep profile has a length of more than 340 km, starting in the Quadrilateral Ferriferous region and ending at the Flúvio-Marines Terraces of the Fluminense coast. The technique developed in a digital environment showed itself efficient, since contributed to speed in the application of the technique. The obtained results were paired with researches which were done using a manual technic, being verified an intimate correlation of them, which confers reliability to the developed automatic routine.

KEYWORDS: Sweeping Profile. Automatic Method. Geographic Information Systems. Geological-geomorphological structuring.

* * *

Introdução

O trabalho publicado por Meis, Miranda e Fernandes (1982) permitiu avanços no campo da ciência geomorfológica, contribuído, sobretudo, para estruturar um método para o discernimento de compartimentos geomorfológicos e suas relações espaciais a partir de perfis em varredura. O reconhecimento de blocos de relevo com características morfológicas semelhantes é feito através do cálculo de níveis de amplitude altimétrica - $\Delta h = h_{\text{máx.}} - h_{\text{mín.}}$, proposto no trabalho de Meis, Miranda e Fernandes (1982), assumindo ampla repercussão no seio da geomorfologia, principalmente na cartografia geomorfológica como o emprego desta técnica por Silva (2002) para realização do mapeamento geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro.

Juntamente a proposta de compartimentação topográfica, Meis, Miranda e Fernandes (1982) propõe que o reconhecimento do comportamento

altimétrico seja feito a partir de perfis em varredura, permitindo, assim, obter uma visão areal e mais regional dos níveis altimétricos dos blocos de relevo e levando ao reconhecimento das inclinações topográficas em função de diferentes graus de inclinação. Com essas peculiaridades, os perfis em varredura se diferenciam dos tradicionais perfis topográficos, que proporcionam, por sua vez, uma visão linear com informação de todos dados altimétricos disponibilizados pelas curvas de nível que o transecto intersecciona, representando assim, linearmente a topografia.

Os perfis em varredura podem ser compreendidos como um gráfico elaborado sobre uma área, tendo como *input* dados de altitude e distância oriundos de uma base cartográfica. Estes auxiliam na compreensão da estruturação geomorfológica permitindo esmiuçar as relações das variações lito-estruturais e/ou tectônicas com a distribuição de diferentes compartimentos, o padrão de falhamentos e, assim, inferências sobre o quadro geomorfológico em largo termo.

Meis, Miranda e Fernandes (1982) ressalta que apesar dos perfis em varredura mascararem a geometria das encostas estes seriam importantes para reconstituição dos planos tangenciais às formas de cumeadas, especialmente nos compartimentos mamelonizados, além de permitirem de forma clara o reconhecimento dos limites transicionais de áreas escarpadas, que podem ser mascaradas parcialmente na compartimentação altimétrica.

Bricalli (2016, p. 95) aponta que a técnica de perfis em varredura “demonstra ser uma ferramenta essencial para a interpretação do relevo, especialmente no que se refere a relevos controlados tectonicamente, uma vez que permite identificar blocos tectônicos, tais como *horsts* e *grabens*, feições morfotectônicas importantes para o entendimento de eventos neotectônicos e responsáveis também pelo controle da rede de drenagem de uma determinada área”. Nessa perspectiva, a técnica foi empregada nos trabalhos de Mello *et al.* (2005), Silva (2012), Fortes, Dal Santo e Volkmer (2014), Marent (2016), Lopes e Bricalli (2016), entre outros.

Conforme Ferreira *et al.* (2015) desde a década de 60 o avanço tecnológico trazido pela informática propiciou a introdução de novas técnicas para obtenção, processamento e análise de dados geomorfométricos. Nessa perspectiva, Valeriano (2008) destaca que vivenciamos uma situação singular, em que o desenvolvimento de geotecnologias encontra-se longe de esgotar o potencial informativo dos dados topográficos existentes e a possibilidade de simular digitalmente métodos de medição de variáveis topográficas se apresenta como uma linha de interesse no contexto da modelagem de dados do meio físico em sistemas de informação geográfica (SIG's).

No entanto, em meio aos notáveis avanços tecnológicos que as geotecnologias propiciaram no âmbito das ciências, a técnica de construção de perfis em varredura não logrou expressivos avanços, principalmente no que concerne a conferir maior celeridade ao processo que dependendo da escala de abrangência pode levar semanas de trabalho manual para obtenção dos dados do plano vertical sincronicamente aos dados do plano horizontal sob as cartas topográficas.

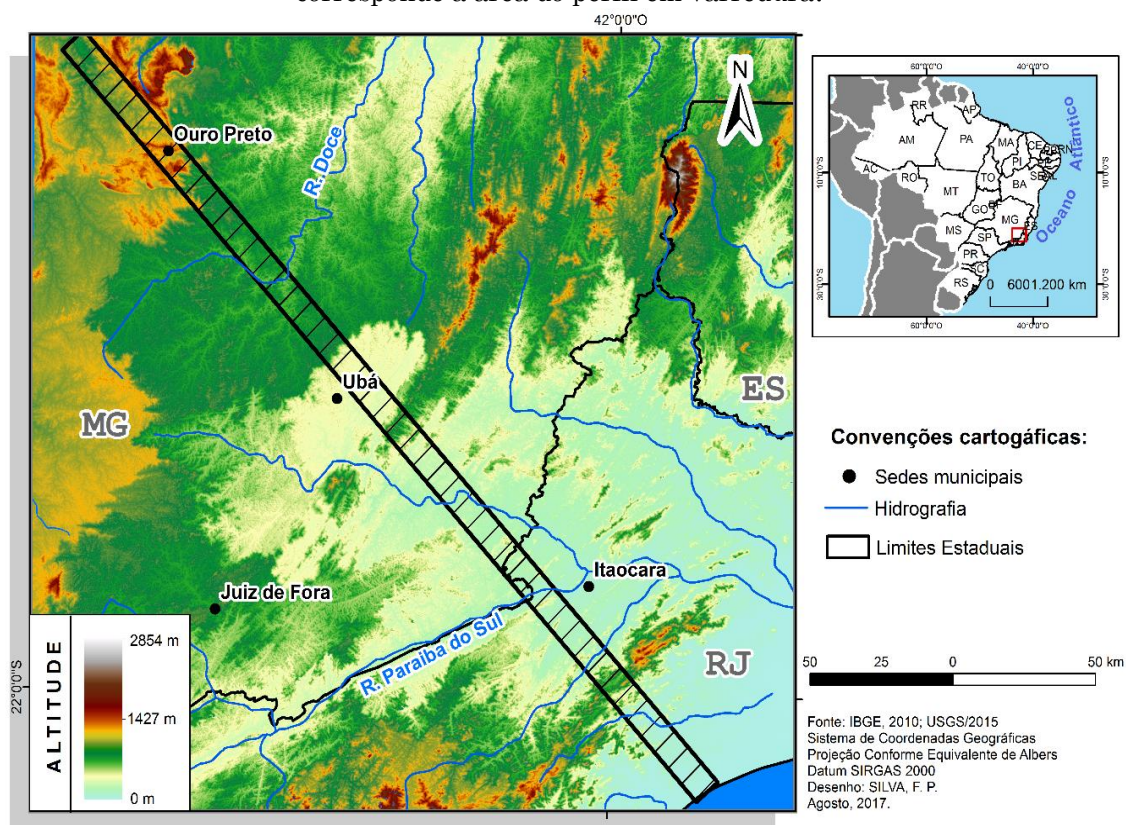
Além da morosidade do processo, a técnica manual é mais propensa a erros advindos de uma identificação errônea do valor da cota, ocasionada geralmente pela qualidade do produto cartográfico utilizado como base para aplicação da técnica e estudo.

Diante deste cenário se buscou otimizar a técnica apresentada por Meis, Miranda e Fernandes (1982) incorporando recursos e técnicas disponíveis nos sistemas de informação geográfica (SIG's), uma vez que os avanços que o SIG's tem propiciado no âmbito das geociências contribuem de modo inquestionável para uma maior capacidade de integração, análise e avaliação de inúmeras informações espaciais a curto tempo. Nesse sentido, pode-se citar os trabalhos de Peron e Royden (2012) e Hergarten, Robl e Stuwe (2014) ao disponibilizar recursos metodológicos inovadores para obtenção de perfis topográficos e de rios auxiliando na investigação e compreensão de aspectos geomorfológicos e evolutivos das paisagens.

1 Área de estudo

O perfil em varredura localiza-se entre as coordenadas geográficas de 20°0'57" e 22°19'8.6" de latitude Sul e 43°53'33" e 41°37'32" de longitude Oeste, com uma extensão superior a 340 km abrangendo uma faixa do sudeste do estado de Minas Gerais e norte do Rio de Janeiro (Figura 1), formando um corredor que inicia-se no âmbito do Quadrilátero Ferrífero, no município de Nova Lima (MG), até os Terraços Flúvio-Marinhos do litoral norte fluminense, na divisa dos municípios de Macaé (RJ) e Carapebus (RJ).

Figura 1 – Localização da área que se aplicou a técnica automática, a faixa tracejada corresponde a área do perfil em varredura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Projeto RADAMBRASIL (GATTO *et al.*, 1983) reconhece dois domínios geomorfológicos para região: *Domínio dos Remanescentes de Cadeias Dobradas* compreendendo uma pequena faixa sudeste do Quadrilátero Ferrífero, componente da faixa orogênica da Serra do Espinhaço

correspondente a província autóctone do Cráton do São Francisco; *Domínio das Faixas de Dobramentos Remobilizados* abrangendo os terrenos discriminados como Planalto do Campo das Vertentes, Mantiqueira Setentrional, Depressão Escalonada dos Rios Pomba-Muriaé, Maciços Costeiros, Reversos da Serra do Mar e Bacia Sedimentar de Campos ambos inseridos na Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.* 1977).

O setor remobilizado corresponde a maior extensão em termos areais. Neste domínio são notórias zonas de cisalhamento com *trend* NE-SW na extensão do orógeno, acompanhando a orientação do *trend* geral da Faixa Móvel Ribeira. Esta característica amparou a escolha por gerar um perfil disposto sob a orientação NW-SE, uma vez que somente nessa orientação ter-se-ia a possibilidade de abarcar transversalmente as estruturas predominante da área.

2 Materiais e Métodos

O perfil em varredura foi elaborado a partir de um conjunto de procedimentos e técnicas lançando mão de funções matemáticas na plataforma ArcGIS Desktop 10.3.1 (ESRI, 2015) nível de licença ArcInfo integrando os recursos das extensões TopoMAPP 1.0 (OLIVEIRA e FERNANDES FILHO, 2016) e *Hawths Analysis Tools* (BEYER, 2004) com intuito de estabelecer um método automatizado de obter todos pontos cotados e suas respectivas posições.

Os procedimentos automáticos majoritariamente foram processados sob o MDE SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) Arc-Second Global 3^a versão, com resolução espacial de 1 arc seg. (aproximadamente 30m), em formato Geotiff, disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS). Para cobertura da área de estudo foi necessário baixar 9 imagens SRTM, que foram reagrupadas em somente um arquivo a partir do processo *ArcToolBox > Data Management Tools > Raster > Raster Dataset > Mosaic To New Raster*. A opção por esta versão SRTM se deve a propriedade da mesma

em contar com um preenchimento das áreas de *No Data* presentes nas versões anteriores (SRTM e SRTM V2) através da interpolação de valores de altitude utilizando como base os dados ASTER GDEM de forma a criar um MDE que possuisse informações contínuas e baixos níveis de extrapolação (BORGES, 2017).

Como tratamento preliminar da base de dados converteu-se o mosaico da imagem de SRTM do sistema de projeção cartográfica original, Geográfica e *datum* horizontal WGS 84, para a Projeção Cônica Equivalente de Albers e como referência horizontal, se adotou o *datum* SIRGAS 2000. No processo de conversão para Projeção Cônica Equivalente de Albers definiu-se os paralelos padrões conforme proposto por Menezes e Fernandes (2013) de modo que se possa minimizar a distorção da região.

Menezes e Fernandes (2013) destacam que a Projeção Cônica Equivalente de Albers tem sido cada vez mais usada em trabalhos que requerem uma maior precisão na mensuração de áreas. Sendo assim, a referida projeção se mostra adequada a demanda de elaborar perfis altímetros em varredura.

O método apresentado por Meis, Miranda e Fernandes (1982) estabelece que os perfis sejam traçados transversalmente ou longitudinalmente a área de estudo estendendo por faixas de largura constante de 20 cm sobre os mapas de 1:50.000, seguido pela extração e projeção das cotas dos pontos culminantes dos divisores e interflúvios. Entretanto, como sublinhado anteriormente, manualmente esse processo é demasiadamente moroso para grandes áreas demandando enorme dispêndio de tempo e esforço para demarcação dos pontos cotados sincronicamente a demarcação das distâncias para compor o eixo das abscissas.

Diante disto, este trabalho apresenta um conjunto de procedimentos com objetivo de subsidiar a geração de perfis de varredura de forma automática.

2.1 Método automático

Como o perfil em varredura contemplará uma área de mais de 3000 km² criou-se um mosaico das imagens de SRTM baixadas, em seguida, se criou um *layer* nomeado de “band”, correspondente à faixa de largura constante de 20 cm (correspondente a 10 km) posicionado transversalmente a estruturação do relevo regional. Recomenda-se recortar o MDE para a área de interesse do perfil de varredura com intuito de economizar tempo no processamento dos dados no *software* ArcGIS 10.3.1. O recorte do MDE para a extensão do *layer* “band” foi realizado seguindo o seguinte caminho *ArcToolBox* > *Spatial Analyst Tools* > *Extracts* > *Extracts by Mask*.

2.1.1 Delimitando os pontos cotados

O MDE recortado pode ser utilizado na extensão TopoMAPP 1.0, mais especificamente nos dois procedimentos iniciais, uma vez que esta ferramenta reúne um conjunto de procedimentos que em sua totalidade tem por fim delimitar as Áreas de Preservação Permanente (APP's) de topo de morro segundo o Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Todavia, o propósito deste trabalho é estender as funcionalidades da ferramenta e ampliar sua aplicação a demandas que se fazem no campo da geomorfologia, principalmente no que tange a obtenção de produtos de grande valia para o estudo do relevo, como os perfis em destaque, que tradicionalmente são construídos à custa de grande esforço e dispêndio de tempo debruçado nas cartas topográficas.

A extensão TopoMAPP 1.0 permite obter os pontos cotados de forma rápida, para tanto, o MDE deve ser submetido primeiramente ao comando “*Delimitar as bases hidrológicas dos morros*”, este comando tem por função criar raster de direção de escoamento com base no MDE invertido. O resultado é a demarcação de cada elevação, o resultado é convertido em um polígono denominado de “*basin_polyg*”. O segundo processo é delimitar os pontos

cotados, o qual é possível no comando “*Delimitar os pontos cotados*” da extensão, o comando retorna um ponto que corresponde ao valor máximo em uma dada área, o *layer* de pontos “*topo_point*” gerado contém valor da altitude na coluna da tabela de atributos referenciada pela letra “Z” que foi imediatamente renomeada de “ALTITUDE”.

2.1.2 Obtendo o plano horizontal a partir de linhas perpendiculares ao comprimento do perfil

Após a obtenção dos pontos cotados se articulou um conjunto de processos na extensão *Hawths Analysis Tools* para parear as informações de altitude em linhas perpendiculares ao comprimento do *layer* “*band*” interceptando as feições contidas no *layer* “*topo_point*”. O processo permite estruturar as informações altimétricas no eixo das ordenadas de forma associada a uma distância no eixo das abscissas utilizando o valor da coordenada geográfica. A seguir se detalha como foi realizado o procedimento.

A *priori* deve se criar um vetor de grade com o menor espaçamento possível. Neste trabalho, se adotou como parâmetro espaçamento de 0,5 metro, sendo a grade produzida automaticamente na extensão *Hawths Analysis Tools* a partir do seguinte caminho *Hawths Tools > Sampling Tools > Create Vector Grid* utilizando como *input* o *layer* “*band*”, devendo obrigatoriamente o arquivo de grade gerados estar no formato de linhas. O *layer* gerado foi nomeado de “*line*”.

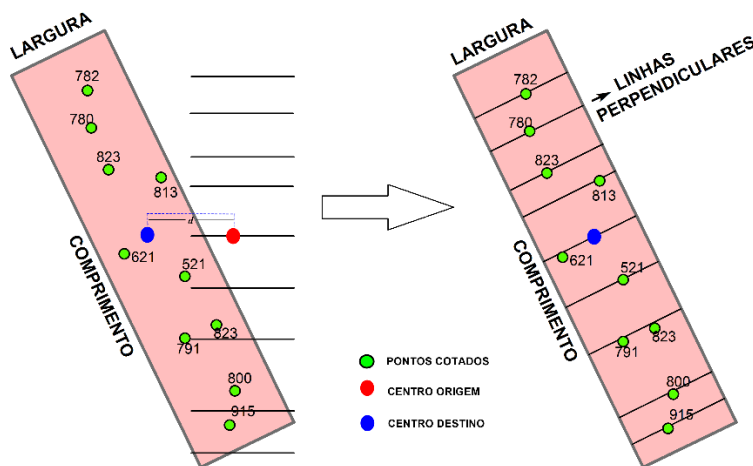
Em seguida, excluiu-se na tabela de atributos do *layer* gerado anteriormente todas as feições correspondentes a longitude, de modo que, permanecesse na tabela de atributos as linhas perpendiculares ao comprimento do *layer* “*band*”, ou seja, as linhas equivalentes a latitude.

Contudo, ressalta-se que o procedimento de excluir as feições de linha correspondente a longitude se dá pelo fato do perfil de varredura elaborado para este trabalho ter uma expressão longitudinal. No caso de perfis com expressão latitudinal deve-se operacionalizar o inverso, ou seja, eliminar as

feições latitudinais e manter as longitudinais concordando assim com a permanência de linhas perpendiculares ao comprimento do setor que se propõe elaborar o perfil.

Caso o perfil esteja posicionado diagonalmente (como é o caso do perfil de varredura em voga), deve se ajustar o *layer* de linhas ao sentido do perfil, fazendo com que o mesmo se alinhe perpendicularmente ao *layer* “band”, este processo é ilustrado na Figura 2. Para tal fim, se constatou duas possibilidades que melhor se adequaram a antagônicos cenários, tendo relativa morosidade conforme a capacidade de processamento da máquina utilizada e o número de feições do *layer* “line”.

Figura 2 – Esquema do processo de ajustamento do *layer* “line” feito por meio da extensão *Hawths Tools*.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nessa perspectiva, se apresenta duas possíveis formas de realizar o processo de alinhamento. A primeira opção é adequada ao cenário no qual o usuário disponha de recursos computacionais com baixa competência em processamento gráfico. Neste caso, aconselha que o processo seja feito por meio da extensão *Hawths Tools*, a partir do seguinte caminho *Hawths Tools* > *Vector Editing Tools* > *Vector Rotation and Shifting*. Este procedimento, por sua vez, é considerado o procedimento com maior grau de relatividade da metodologia desenvolvida para construção de perfil em varredura aqui apresentada, uma vez que a rotação obrigatoriamente deve ser a mesma da

orientação do perfil em varredura, devendo conjuntamente a inserção da rotação identificar em metros a distância do deslocamento do centro do layer “line” desalinhado para o centróide da posição do layer “band”.

Especificamente, ao cenário no qual o usuário disponha de recursos computacionais para processamento gráfico de um elevado volume de dados se sugere que o deslocamento e rotação seja realizado através do modo de edição do layer “line”.

Neste trabalho, se testou o procedimento de rotação utilizando um computador Intel® Core™i7, com 7GB de RAM e um notebook Intel® Pentium® P6100 com 4GB de RAM. Logrou-se êxito no processamento do layer “line” por meio do modo de edição apenas no computador, já no notebook o processo foi possível apenas utilizando a extensão *Hawths Tools*.

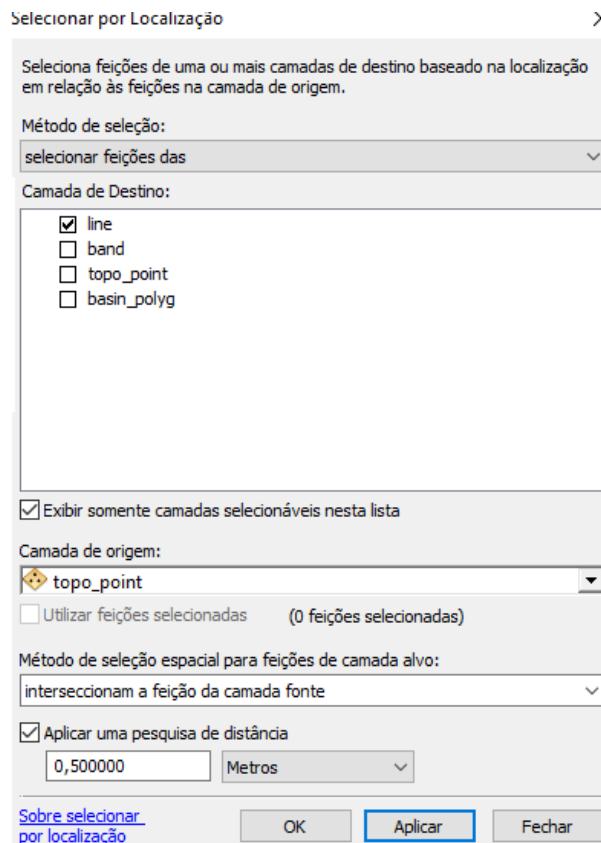
Sendo assim, sugere-se que previamente verifique a possibilidade de rotação e deslocamento a partir do modo de edição do layer “line” e, posteriormente, depreendendo-se com erros ou lentidão articule o layer de modo a realizar o processo por meio da extensão *Hawths Tools*.

2.1.3 Criando uma ligação espacial do plano horizontal aos pontos cotados

O passo seguinte refere-se à criação de uma ligação espacial entre os layers “line” e “topo_point”. Antes, porém, deve se eliminar as feições do layer “line” que não interseccionam nenhuma feição do layer “topo_point”, uma vez que estas feições são desnecessárias. Para isto, primeiramente selecionou-se por localização (Figura 3) as linhas que interseccionam as feições de pontos do layer “topo_point” a partir de um raio com distância de 0,5 metro (este raio pode variar a depender do número de dados, devendo se verificar qual distância melhor se adequa para interseção). Feito isto, a seleção se inverte, de modo que todas as feições que não interseccionam nenhum ponto fossem selecionadas e, então, prontamente se abriu o modo de edição do layer “line” com objetivo de eliminar as feições selecionadas anteriormente. A partir daí

foi encerrado o modo de edição do *layer*, uma vez que se dispunha dos dados necessários para ligação espacial com o arquivo “topo_point”.

Figura 3 – Processo de Seleção por Localização.

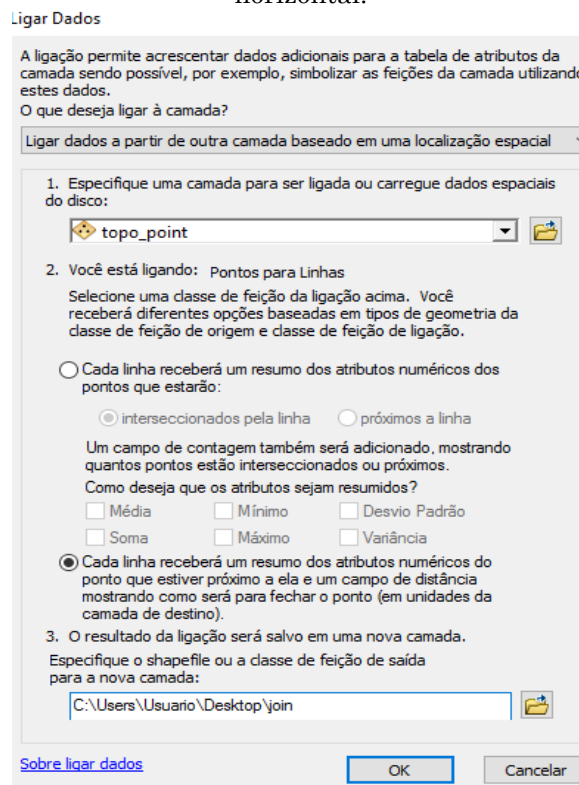


Fonte: Elaborado pelos autores.

Para ligação espacial dos registros lineares e pontuais tem de entrar nas propriedades do *layer* “line” e, na janela do menu, ir na guia “Ligar e Relacionar” e clicar em “Ligar”. Abre-se então a caixa de diálogo “Ligar Dados”, na qual se especifica a camada “topo_point” para ser ligada, o software automaticamente compreenderá que se pretende criar uma ligação de pontos para linhas. Seguidamente, marca-se dentre as opções de ligação espacial a que informa a seguinte operação: “*Cada linha receberá os atributos numéricos do ponto que estiver próximo a ela e um campo de distância mostrando como será para fechar o ponto*”, este processo é apresentado na Figura 4. Resumidamente, esta operação permite anexar ao *layer* “line” as informações altimétricas do *layer* “topo_point”, como produto desta operação

teve-se como resultado o *layer* nomeado de “join”, que resguarda as feições do *layer* “line” de forma conjugada aos dados altimétricos do *layer* “topo_point” na tabela de atributos. A seguir, se desabilita todas colunas contidas na tabela de atributos deste *layer*, mantendo somente a coluna da “altitude”.

Figura 4 – Processo de junção espacial dos dados da altitude e do comprimento do plano horizontal.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Seguidamente, adiciona-se uma nova coluna na tabela de atributos do *layer* “join” e se calcula a latitude das feições de linha contidas na tabela de atributos, o qual permite determinar o plano horizontal do perfil a partir do tratamento matemático da latitude. Esta coluna recebeu como identificação a letra “n”. Inicialmente, foi preciso transformar o sinal negativo das latitudes, dado que os valores das latitudes são considerados negativos ao sul do paralelo do Equador. Esta transformação otimiza procedimentos posteriores, realizada por meio da caixa de diálogo “Calculadora de Campo” inserindo a Equação 1:

$$[n] * -1 \quad (1)$$

Onde “n” é a coluna que contém os valores da latitude (m).

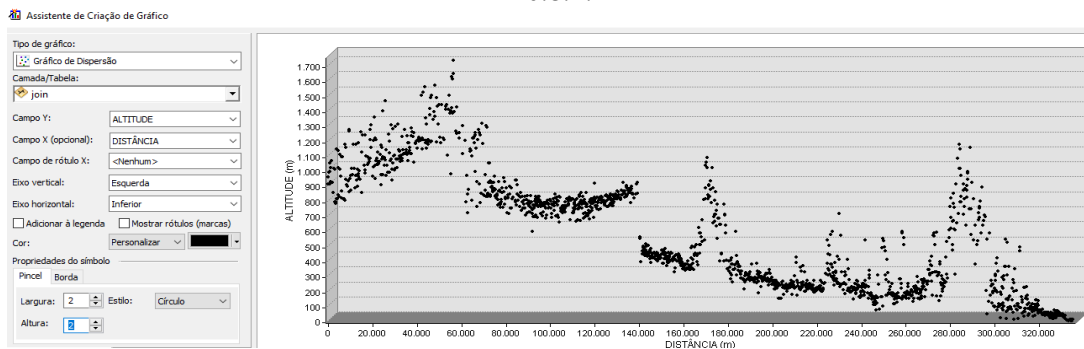
Após o procedimento anterior se adiciona uma nova coluna na tabela de atributos do *layer* “join”, nomeada de “n1”, inserindo nesta somente o valor positivo da latitude inicial do perfil, ou seja, aquela que intersecciona o primeiro ponto cotado identificado para o perfil de varredura. Adiante, se adiciona uma coluna que recebeu o nome de “distância”, na qual se calcula as distâncias absolutas do plano horizontal do perfil de varredura a partir da “Calculadora de Campo”, na qual se insere a Equação 2:

$$!n! - !n1! \quad (2)$$

Onde “n” é a coluna que contém os valores da latitude (m) e “n1” é a coluna que contém a latitude inicial (m) que intersecciona o primeiro ponto cotado.

Após cumprir as etapas anteriores os dados do *layer* “join” foram plotados em um gráfico de dispersão dentro da opção de “Criar Gráficos” adstritas ao menu rápido da tabela de atributos, se inserindo os registros da coluna “altitude” no campo Y e os registros da coluna “distância” no campo X, gerando assim, o perfil de varredura, conforme pode ser visualizado na Figura 5.

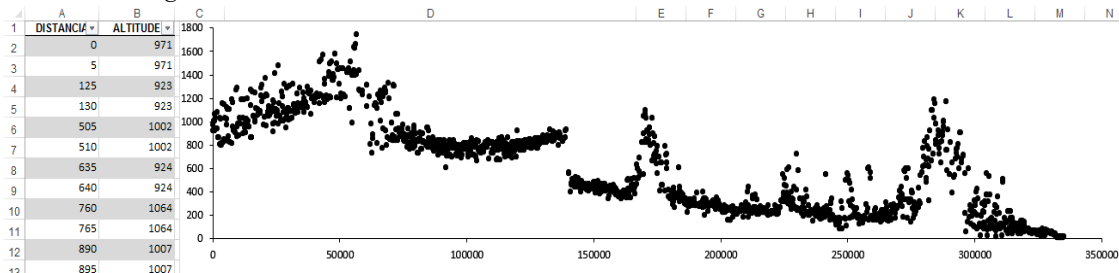
Figura 5 – Caixa de diálogo para elaborar os perfis em varredura no software ArcGIS 10.3.1.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os procedimentos adotados na tabela de atributos do *layer* “join” também podem ser processados no *software* EXCEL®, com suficiente facilidade. Com intuito de explorar as possibilidades de ambos *softwares* se realiza os procedimentos em ambos programas. No EXCEL® se exporta os dados do *layer* “join” para o formato XLS (sendo este o único formato de saída disponível compatível ao Excel® no ArcGIS 10.3.1), utilizando o recurso de “Criar Relatório” dentro do menu rápido da tabela de atributos. Com os dados disponíveis se cria um gráfico de dispersão, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Perfis em varredura sendo construído no software Excel ®.

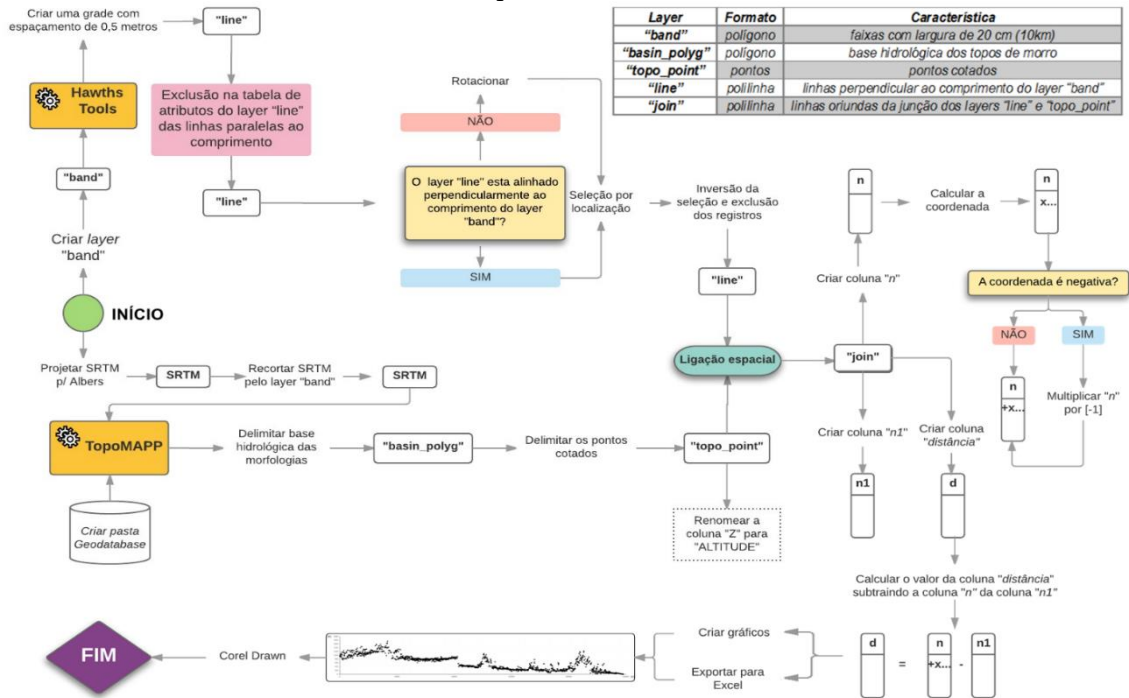


Fonte: Elaborado pelos autores.

Ressalta-se que as técnicas em ambos *softwares* se mostraram factíveis, contudo, evidencia-se que o EXCEL® dispõe de uma maior gama de *layouts* e permite uma maior variabilidade no exagero horizontal e vertical do perfil. Desse modo, para uma maior flexibilidade recomenda-se que os perfis sejam gerados graficamente por meio do EXCEL® que dispõe desta maior flexibilidade em termos de escala e *layout*. As edições finais foram feitas no *software* CorelDraw X3.

Na Figura 7 apresenta-se um fluxograma que sintetiza todos procedimentos que compõe a técnica automática para construção de perfis de varredura por meio automático.

Figura 7 – Fluxograma síntese dos procedimentos adotados na técnica automática para elaborar perfis em varredura.

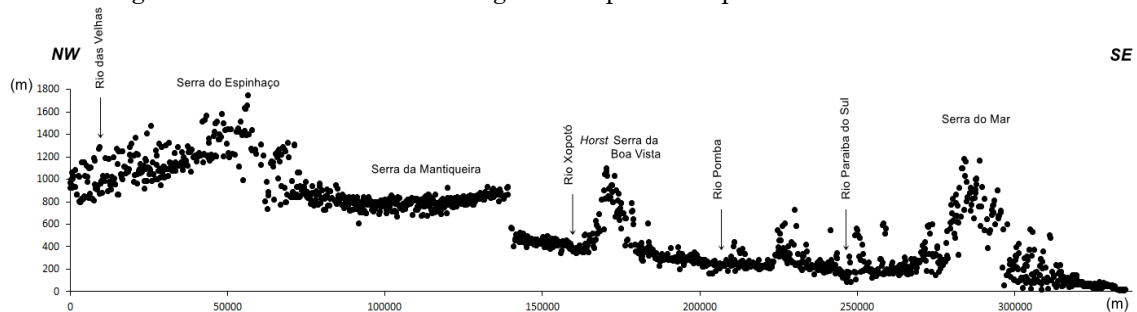


Fonte: Elaborada pelos autores.

3 Resultados e Discussões

O conjunto de operações realizadas no SIG foi capaz de gerar o perfil em varredura com exatidão para área analisada. O perfil realizado (Figura 8) apresenta uma extensão de 346 km e uma amplitude altimétrica de 1747 metros, sendo identificados 5021 pontos cotados.

Figura 8 – Perfil em varredura gerado a partir de procedimentos automáticos.



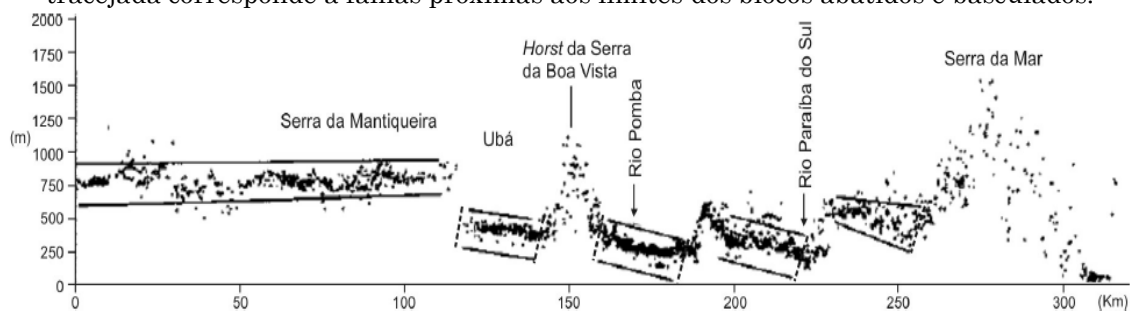
Fonte: Elaborada pelos autores.

O perfil em varredura permite identificar faixas de transição de patamares e o escalonamento do relevo característico desta porção territorial

do Brasil Sudeste, sendo também possível reconstituir os planos tangenciais as bordas escarpadas dos compartimentos geomorfológicos.

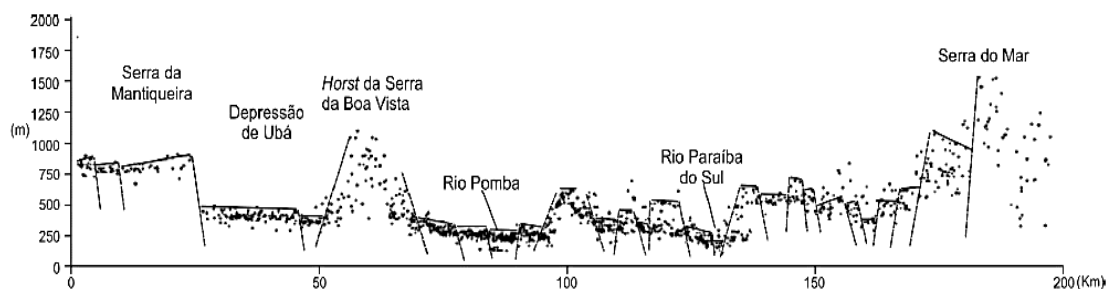
Mello *et al.* (2005) e Silva (2012) discorrendo sob o característico abatimento de blocos associados a rupturas topográficas e o conspícuo condicionamento tectônico recente na evolução da porção deprimida dos rios Pomba e Muriaé, elaboraram perfis em varredura a partir do método manual para o mesmo contexto geomorfológico selecionado neste trabalho. As Figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, os perfis elaborados por estes autores.

Figura 9 – Perfil em varredura, destacando o escalonamento interno da Depressão dos rios Pomba-Muriaé e poucas variações altimétrica na topografia do contexto da Serra da Mantiqueira. Linhas contínuas denotam o sentido de basculamento dos blocos. Linha tracejada corresponde a falhas próximas aos limites dos blocos abatidos e basculados.



Fonte: Marent (2016).

Figura 10 – Perfil de varredura, destacando os blocos abatidos e basculados na Depressão dos rios Pomba e Muriaé em escala de maior detalhe. Linha tracejada corresponde a falhas próximas aos limites dos blocos abatidos e basculados.



Fonte: Marent (2016).

Nesse sentido, comparando o perfil de varredura aqui elaborado de modo automático com os perfis elaborados por Mello *et al.* (2005) e Silva (2012) pode-se destacar o exímio da técnica automática aqui proposta. Apresentamos na Tabela 1 a comparação dos procedimentos da técnica automática e da técnica manual.

Tabela 1 – Síntese comparativa dos procedimentos na técnica automática e manual

Etapa	Técnica manual	Técnica automática
Organização do Plano de Informação	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenção de cartas topográficas; - Seleção e marcação dos setores para elaborar os perfis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Obtenção do MDE e inserção no ArcGis. - Seleção dos setores e criação do <i>shapefile</i> com largura de 20 cm constante para elaborar os perfis.
Reconhecimento dos pontos cotados (eixo Y)	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação feita de forma manual extraindo os valores de topo em cartas topográficas com auxílio de papel vegetal milimetrado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso da extensão <i>TopoMAPP</i> para as operações de delimitar base hidrológica das morfologias; e, posteriormente, delimitar os pontos cotados.
Obtenção do plano horizontal (eixo X) do perfil	<ul style="list-style-type: none"> - Obtidos correlacionando os valores de topo identificados no papel vegetal milimetrado ao valor correspondente no plano horizontal, ou seja, valor de distância da localização do ponto cotado reconhecido ao longo do eixo X e, assim, obtendo as relações entre distâncias dos pontos por operações escalares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso da extensão <i>Hawths Tools</i> para criar uma grade de coordenadas com 0,5 cm. - Exclusão das linhas representativas da longitude. - Caso necessário rotacionar as linhas de latitude para coincidir a orientação e ângulo que se está traçando o perfil. - Seleção por localização, exclusão das linhas da latitude que não interseccionam os pontos culminantes.
Ligação dos pontos cotados ao plano horizontal (X e Y)	<ul style="list-style-type: none"> - Criação da planilha eletrônica relacionando os pontos cotados (Y) e localização (X). 	<ul style="list-style-type: none"> - Ligação espacial entre o <i>shapefile</i> de pontos cotados (Y) e linhas (X) criando o <i>shapefile</i> de pontos nomeado de 'join' contendo dados de X e Y.
Organização e plotagem dos dados na planilha eletrônica	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de um gráfico de dispersão em Excel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conversão dos valores da latitude a distância do perfil. - Criação de um gráfico de dispersão Excel ou ArcGis.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com a articulação automática teve-se o dispêndio de apenas algumas horas para um trabalho que manualmente requisitaria semanas.

Segundo levantamento feito para área dos perfis em varredura, constatou-se que pelo método manual teria que se dispor de no mínimo 21 cartas topográficas, na escala de 1:50.000, para cobrir a área base do produto aqui apresentado elaborado automaticamente em SIG. Destaca-se, além da morosidade do processo manual, tem-se a limitação de que não são todos os pontos cotados que estão discriminados nas cartas, o que obviamente se mostra como mais um entrave na técnica tradicional, que o procedimento automático permite superar.

4 Conclusão

Os procedimentos metodológicos levados à efeito no presente trabalho se mostraram adequados para elaboração e edição de perfis em varredura de modo automático, com auxílio de recursos disponíveis em SIG's. Desse modo, acredita-se ter contribuído para uma maior celeridade no processo de construção deste importante recurso gráfico para geociências, que muitas vezes, dependendo da escala trabalhada, tornar-se-ia inviável sua execução, exigindo uma empreitada morosa para definição dos valores de pontos cotados associado ao comprimento do plano horizontal do perfil.

Além da celeridade e evolução tecnológica sublinha-se como vantagem da técnica empreendida em ambiente digital uma maior facilidade de integração e pareamento do perfil com outras informações espaciais, como a litologia, coberturas superficiais, compartimentos geomorfológicos, domínio climático, entre outras informações.

Ademais, a curto prazo propõe-se elaborar uma ferramenta no próprio SIG que possa viabilizar o uso sistemático desta metodologia com presteza por usuários pouco familiarizados aos procedimentos aqui apresentados. Destaca-se, também a possibilidade de transposição das técnicas aqui empreendidas a outros métodos de investigação e análise dos mecanismos evolutivos do relevo.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado cedida.

Referências

- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. **Anais do VIII Simpósio de Geologia do Nordeste**. Campina Grande. 1977. pp. 363-391.
- BEYER, H. L. 2004. **Hawth's Analysis Tools for ArcGIS**. Site <<http://www.spatial ecology.com/htools>>, acessado em agosto de 2017.
- BORGES, G. L. **Análise Geoecológica da Dinâmica da Paisagem do Estado do Rio de Janeiro: Uma Proposta de Rotina para o Uso da Superfície Modelada** (Dissertação de Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.
- BRICALLI, L.L. Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica. **Revista Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, v. 6, n.1, 2016. pp. 75-110
- FERREIRA, M.V.; TINÓS, T.N.; PINTON, L. G.; LUPINACCI, C.M. A Cartografia da Dissecação Vertical para Avaliação do Relevo: Proposta de Técnica Automática. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 67/6, 2015. pp. 1231-1245.
- FORTES, E.; DAL SANTO, T.; VOLKMER, S. Aplicação de Perfis de Varredura na Análise Geomorfológica do Relevo de Borda Planáltica e Mapeamento de Superfícies Estruturais. **Anais do X Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Manaus, 2014.
- GATTO, L. C. S.; RAMOS, V. L. S.; NUNES, B. T. A.; MAMEDE, L.; GÓES, M. H. B.; MAURO, C. A.; ALVARENGA, S. M.; FRANCO, E. M. S.; QUIRICO, A. F.; NEVES, L. B. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SF-23/24 Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.
- HERGARTEN, S.; ROBL, J.; STUWE, K. Extracting topographic swath profiles across curved geomorphic features. **Earth Surface dynamics**, v. 2, 2014. pp. 97-104
- LOPES, A. P. G; BRICALLI, L. L. Aplicação da técnica de perfil em varredura para análise neotectônica da Bacia do Rio Juara (Serra-ES-Sudeste do Brasil). **Anais do XI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Maringá, 2016.
- MARENT, B.R.; **Geomorfogênese dos Degraus escalonados do Sudeste de Minas Gerais**. Tese de doutoramento - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. 190f.

- MEIS, M.R.M.; MIRANDA, L.M.G. e FERNANDES, N.F. Desnívelamento de Altitude com Parâmetro para a Compartimentação do Relevo: Bacia do Médio-Baixo Paraíba do Sul. **Anais do XXXII Congr. Brasileiro de Geologia**. Salvador, 1982, pp. 1489-1503.
- MELLO, C.L.; TOMAZ, E.A.; SILVA, R.C.B.; RODRIGUES, H.B. Condicionamento tectônico Cenozóico na evolução da depressão topográfica dos rios Pomba e Muriaé (MG, RJ). In: X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos., 2005, Curitiba (PR). **Boletim de resumos expandidos...**Curitiba: [s.n.], v. 1, 2005. pp. 192-194.
- MENEZES, P.M.L.; FERNANDES, M. C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 288p.
- OLIVEIRA, G.C.; FERNANDES FILHO, E. I. Automated Mapping of Permanent Preservation Areas On Hilltops. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 1, 2016. pp. 111-120
- PERRON, J. T; L. ROYDEN; An integral approach to bedrock river profile analysis. **Earth Surf. Process. Landforms** v. 38, 2013. pp. 570–576.
- SILVA, T.M. **A Estruturação Geomorfológica do Planalto Atlântico no Estado do Rio de Janeiro**. Tese de doutoramento – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. 265f.
- SILVA, T. P. **Modelo geológico-geomorfológico da evolução da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Tese de doutoramento – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. 139 f
- VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Ed.). **Geomorfologia - Conceitos e Tecnologias Atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.