

Extração de rede de drenagem e divisores por processamento digital de dados topográficos

MÁRCIO DE MORISSON VALERIANO¹

JENER FERNANDO LEITE DE MORAES¹

¹IAC - Instituto Agronômico de Campinas
Caixa Postal 28 - 13001-970 - Campinas - SP, Brasil
valerian@barao.iac.br - jfmoraes@barao.iac.br

Abstract A simple approach to automatically extract drainage and divide network from topographic maps is presented. Though the methods were based on the properties of second order derivative calculus, the results could be achieved through basic Geographical Information System functions, namely gradient filtering and mathematical operations. The developed technique requires a Digital Terrain Model, interpolated from the contour lines of topographic maps. The results showed highly detailed drainage network, since every minor channel was detected. Drainage density could be easily perceived in the derivate image, as drainage patterns were strongly enhanced. The divide network lines showed to be usefull to separate neighboring aligned riverbeds from different catchments and to guide the separation of terrain units.

Keywords: geographical information system (GIS); digital elevation model (DTM); 2nd order derivative; drainage divide; drainage network.

Introdução

O relevo é reconhecido como um dos principais agentes de formação do solo. Atua de forma indireta, modificando características climáticas de sua região, ou direta, através do controle de sua drenagem. Além disso, suas formas refletem propriedades do material de origem, características geológicas e processos de formação pedogenética, sendo por estes motivos apontado como uma das informações mais importantes para a fotopedologia e fotogeologia (Moniz, 1972).

Entre as características do relevo mais importantes a indicar diferenças entre solos e rochas está a rede de drenagem. Esta advém da interação dos fatores associados ao relevo, geologia, clima, vegetação, textura e permeabilidade do solo. O padrão de drenagem, definido pelo arranjo espacial dos rios e seus afluentes, foi amplamente explorado na definição de zonas homólogas em estudos de segmentação do meio físico (França, 1968). As técnicas de extração de informações da drenagem se baseiam nas características qualitativas (forma ou tipo) e quantitativas (ordem de ramificação, distribuição, densidade e frequência). Duas fontes básicas dessa informação são as fotografias aéreas e os mapas topográficos.

Entretanto, Ricci e Petri (1965) ressaltam limitações ao uso de mapas topográficos devidas à falta de registro dos cursos d'água menores, que são suprimidos da edição final por motivos estéticos e cartográficos. Em outras palavras, as informações da rede de drenagem explícitas nos mapas topográficos estão aquém da informação potencial dos mesmos, estando porém indicadas pelas formas do relevo, através da existência de canais de drenagem. Como decorrência, os

pesquisadores se vêm na obrigação de voltar às fotografias aéreas (que dão origem às cartas topográficas) para recuperar o levantamento da rede de drenagem completa.

Com o advento das plataformas computacionais e, mais especificamente, dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o tratamento digital das informações topográficas foi viabilizado, possibilitando-se uma série de operações automáticas sobre extensas coleções de dados estruturados em Planos de Informação (PI). Há diversos tipos de funções de análise espacial oferecidas pelos SIG, as quais podem ser combinadas em funções mais complexas (Valenzuela, 1991). Tais funções foram desenvolvidas primordialmente para a extração de informações.

Os recursos de processamento de imagem permitiram o desenvolvimento de técnicas automáticas de extração de feições lineares da topografia ou da conformação da cobertura terrestre. Bagheri e Kiefer (1985) utilizaram dados de Landsat para a detecção de alinhamentos topográficos (falhas e sistemas de fratura) em região montanhosa. O tratamento da imagem foi baseado nas funções de realce, razão entre bandas, filtragem e algoritmos de derivação. A eficiência da metodologia esteve associada às condições topográficas particulares da área de estudo, que permitiu, através de sombreamento, a evidenciação das feições procuradas.

Entre os diversos recursos de SIG, o uso de filtros matemáticos em janelas móveis apresentam grande flexibilidade funcional, podendo-se definir cálculos particularizados em atendimento a demandas específicas (Moretti et al., 1989). O potencial de aplicação dos filtros recai principalmente sobre planos de informação do tipo numérico, dos quais a topografia constitui um exemplo típico. Os dados topográficos se inserem no SIG por digitalização das curvas de nível, com posterior interpolação para formar o chamado Modelo Numérico do Terreno (MNT), que é uma imagem (estruturada em células ou em *pixels*) das cotas altimétricas.

Valeriano (1999) desenvolveu uma sequência de operações em SIG para o mapeamento automático de variáveis topográficas relacionadas a modelos de erosão, as quais são tradicionalmente medidas à mão sobre as cartas altimétricas. Um dos subprodutos deste estudo, requerido para atender aos objetivos finais específicos, foi a detecção automática dos divisores de água através de derivação do modelo numérico do terreno. O estudo fornece ainda as diretrizes básicas e as técnicas especiais para a formação de MNT com características desejáveis para o geoprocessamento.

Este trabalho apresenta uma adaptação de recursos de análise espacial de SIG para evidenciação dos canais de drenagem e divisores de água a partir do MNT, como forma de suporte à leitura dos elementos da drenagem com fins de classificação fisiográfica. Sua utilidade se concentra em áreas onde a percepção e o registro destas feições requerem um grande volume de trabalho, em virtude do relevo movimentado.

Material e Métodos

O processamento descrito foi desenvolvido para atender ao mapeamento do meio físico das Serras do Mar e Paranapiacaba, englobando o projeto uma área distribuída em 19 folhas topográficas 1:50000. O tratamento digital dos dados topográficos mostrou-se uma alternativa interessante em relação ao levantamento aerofotográfico ou orbital da drenagem, face à extensão territorial do projeto e à conseqüente demanda de interpretação visual e de desenho técnico.

Embora a metodologia tenha sido desenvolvida e aplicada para todas as 19 folhas, no presente trabalho estão exemplificados somente os resultados relativos à Carta Topográfica 1:50000 do IBGE (1973), Folha Pico do Papagaio (SF-23-Y-D-V-2).

Considerando a totalidade dos procedimentos, desde a entrada dos dados, foram utilizados os seguintes programas computacionais: Autocad (digitalização); Excel e Quattro-Pro (planilhas);

Minitab, Variowin e GeoEas (estatística); Surfer (interpolação); e Idrisi (geoprocessamento), além de editores de texto, gráficos e pequenos programas para conversão de formatos e compatibilização de arquivos entre diferentes programas. Os procedimentos adotados podem ser agrupados em três etapas: pré-processamento, derivação e pós-processamento, descritas a seguir.

O pré-processamento consistiu na preparação da imagem topográfica, ou MNT. Após a digitalização das curvas de nível e pontos cotados, estes dados foram interpolados de modo a se gerar o respectivo plano de informação em estrutura *raster*. Este processo, realizado com a metodologia detalhada em Valeriano (1999), está esquematizado no fluxograma da **Figura 1**.

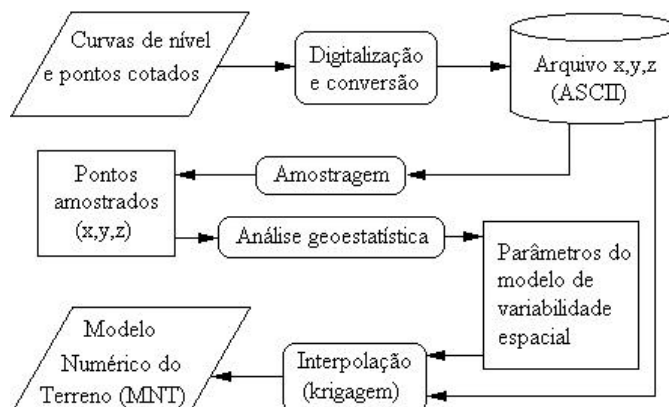


Figura 1 – Pré-processamento: preparação do Modelo Numérico do Terreno (MNT)

O processamento aplicado sobre o MNT se baseia na propriedade da derivada de 2º grau de evidenciar os pontos de máximo e mínimo de uma função. Considerando um sistema de eixos direcionais sobre cada pixel do MNT, é possível verificar se este ponto corresponde a um máximo ou mínimo local das funções representadas por transectos dispostos em cada eixo. Este princípio, embora concebido com base no cálculo diferencial, pode ser simulado de maneira simples através de recursos de geoprocessamento. Filtros elaborados para calcular gradientes em direções arbitrárias atuam sobre o MNT de forma similar à derivação da superfície altimétrica. Foram elaborados 4 filtros direcionais, na forma de janelas móveis de dimensões 3x3 pixels (**Figura 2**), que atribui ao pixel central o resultado da subtração entre vizinhos na mesma linha.

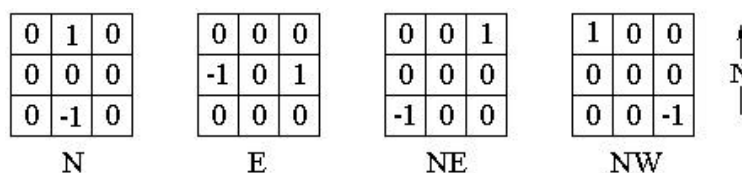


Figura 2 - Filtros direcionais usados na derivação da topografia.

O efeito de cada passo de processamento aplicado a um transecto hipotético está apresentado na **Figura 3**. Para cada uma das direções isoladamente, a filtragem gera uma imagem de valores positivos e negativos em função de movimento ascendente ou descendente. O módulo do resultado corresponde à declividade daquele transecto em cada posição da janela móvel. Para o resultado que se pretende obter, é necessário que os valores tenham seus módulos padronizados mantendo-se o sinal da derivação. Isto foi feito dividindo-se a 1ª derivada pelo seu próprio módulo ($y=x \cdot |x|^{-1}$), resultando em pixels com valores +1, -1 e, ocasionalmente, nulos. Esta imagem foi denominada “sinal da derivada”, havendo uma para cada direção analisada.

Aplicando-se os mesmos filtros sobre os respectivos sinais da derivada (filtro *da direção x_1*) sobre sinal da derivada *da direção x_1*), resulta no realce, com valores não-nulos, dos locais onde há inversão do sinal. Estas imagens, chamadas de “2ª derivada”, têm valores nulos ao longo das vertentes, positivos (+2) nos pontos de mínimo e negativos (-2) nos de máximo.

As 4 imagens de 2ª derivada obtidas foram sobrepostas de várias formas no intuito de se seleccionar a melhor representação da drenagem e dos divisores de água. A soma das imagens permitiu que se representassem estas feições sob 4 condições distintas, em função do número de direções de ocorrência: a) feições presentes em qualquer uma das direções; b) em duas ou mais direções; c) em três ou mais direções; e d) em todas. A condição *a* resulta no maior número de feições evidenciadas, diminuindo sistematicamente sua densidade até a condição *d*, que apresenta picos esparsos e eventuais pontos de drenagem. Uma verificação visual mostrou que todas as feições obtidas na condição *a* têm correspondência na carta topográfica.

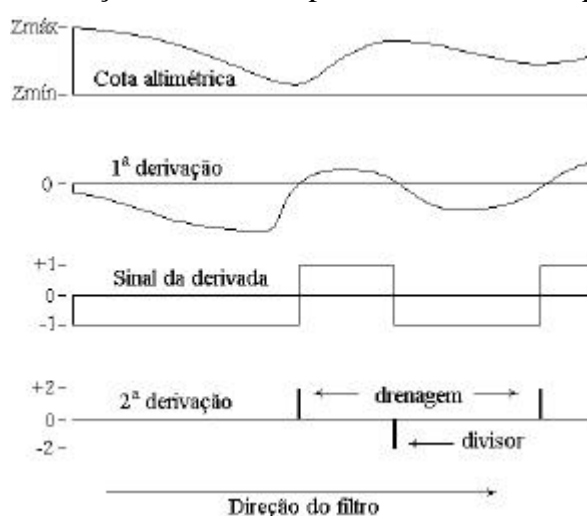


Figura 3 –Extração de drenagem e divisores com filtro direcional em um transecto.

O pós-processamento consistiu de sucessivas operações de filtragem e reclassificação, combinadas para dar maior coesão às feições mapeadas, e foi desenvolvido mediante testes sob avaliação visual dos resultados. Todo o processamento, desde a importação das grades interpoladas até o produto final, foi programado em arquivo de macro (Idrisi Macro Language), para aplicação automática e padronizada por todas as cartas topográficas.

Resultados e Discussão

A metodologia desenvolvida apresentou amplas vantagens operacionais em relação a métodos manuais. As principais vantagens operacionais estão ligadas à automatização: rapidez, economia de trabalho e padronização. Todo o processo requereu 63 operações de geoprocessamento mais 50 apenas para exclusão de arquivos, convindo, portanto, a programação dos passos para minimizar o erro humano. O tempo de processamento esteve em torno de 1/20 do tempo de interpolação das grades. Outras vantagens do método advêm da natureza digital dos resultados, os quais podem ser reprocessados conforme se desenvolvam algoritmos para a extração de informações adicionais. Os divisores de água evidenciados mostraram-se úteis na demarcação das áreas homólogas, cujos limites podem ser diretamente digitalizados em tela. Uma segunda

utilização do produto é o apoio para o geo-referenciamento de imagens de sensoriamento remoto, substancialmente beneficiado pela evidência de pequenos rios da base cartográfica.

No detalhe (**Figura 4**), os canais de drenagem evidenciados apresentam numerosos polígonos associados, além de fragmentação interna e falsas conexões. Ocorrem muitas linhas duplicadas (largura de mais de um *pixel*), eventualmente separadas.

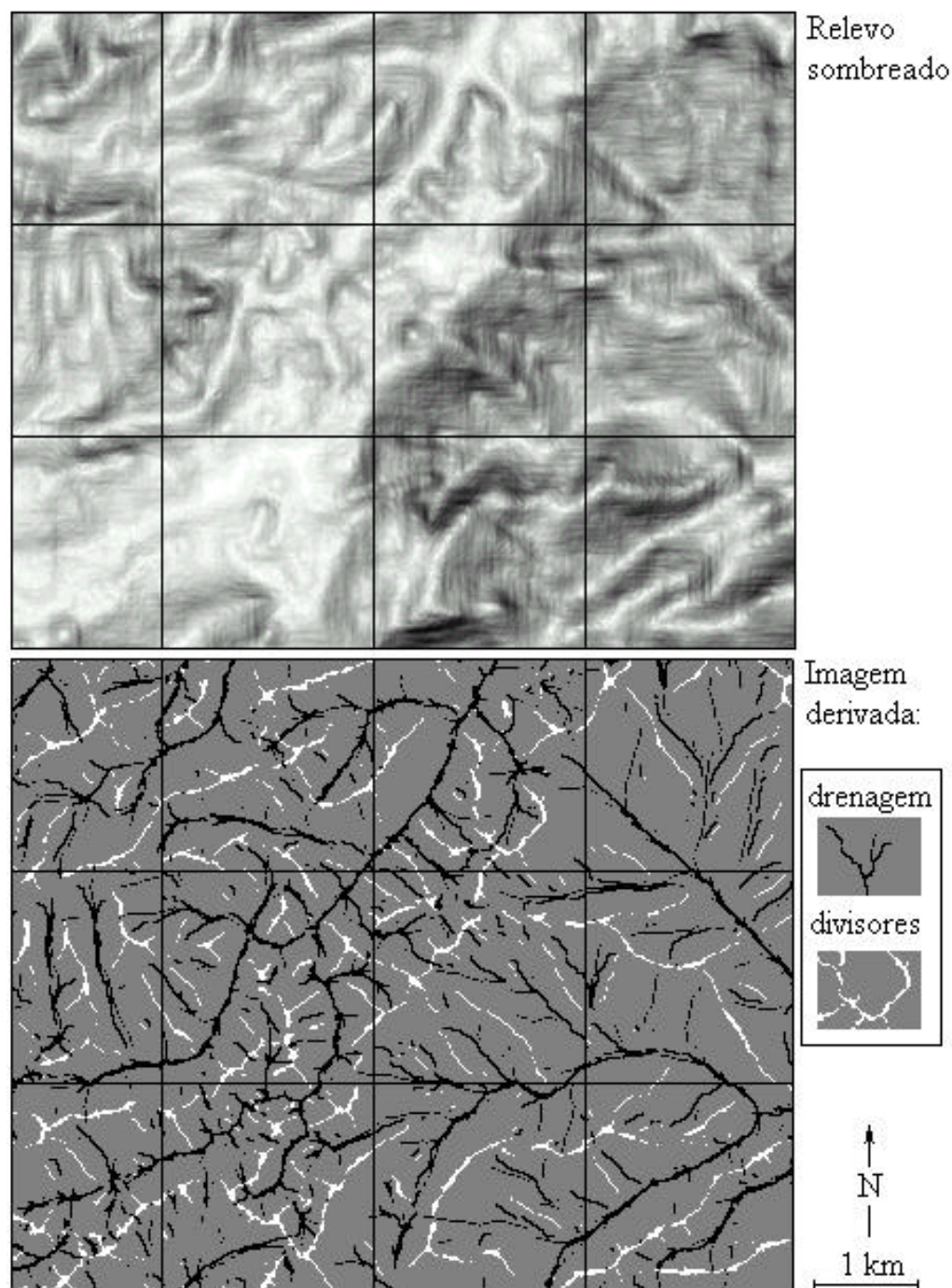


Figura 4 – Detalhe de extração de rede de drenagem e divisores: modelo numérico do terreno (em relevo sombreado, no topo) e imagem derivada (em classes, embaixo).

Uma das limitações operacionais do método é o fato de se produzirem feições estruturadas no formato *raster*. Embora possam ser utilizados na forma proposta, muitos prefeririam trabalhar com estas feições no formato vetorial, possibilitando a aplicação de outro grupo de recursos, como manipulação de arcos e sobreposição a bases *raster*. As tentativas de vetorização do produto foram impedidas pelo excessivo número de feições produzidas.

No contexto da fotopedologia, a **Figura 4** mostra a transição entre uma drenagem densa (noroeste) contrastando com a estrutura menos densa (sudeste), de padrão dendrítico. Linhas de divisor separam as duas áreas. Ao longo da diagonal SW-NE da área, pode-se perceber a presença de um padrão paralelo/assimétrico. Mais do que os padrões, a observação em escala generalizada (**Figuras 5 e 6**) dos resultados permite a avaliação da densidade de drenagem.

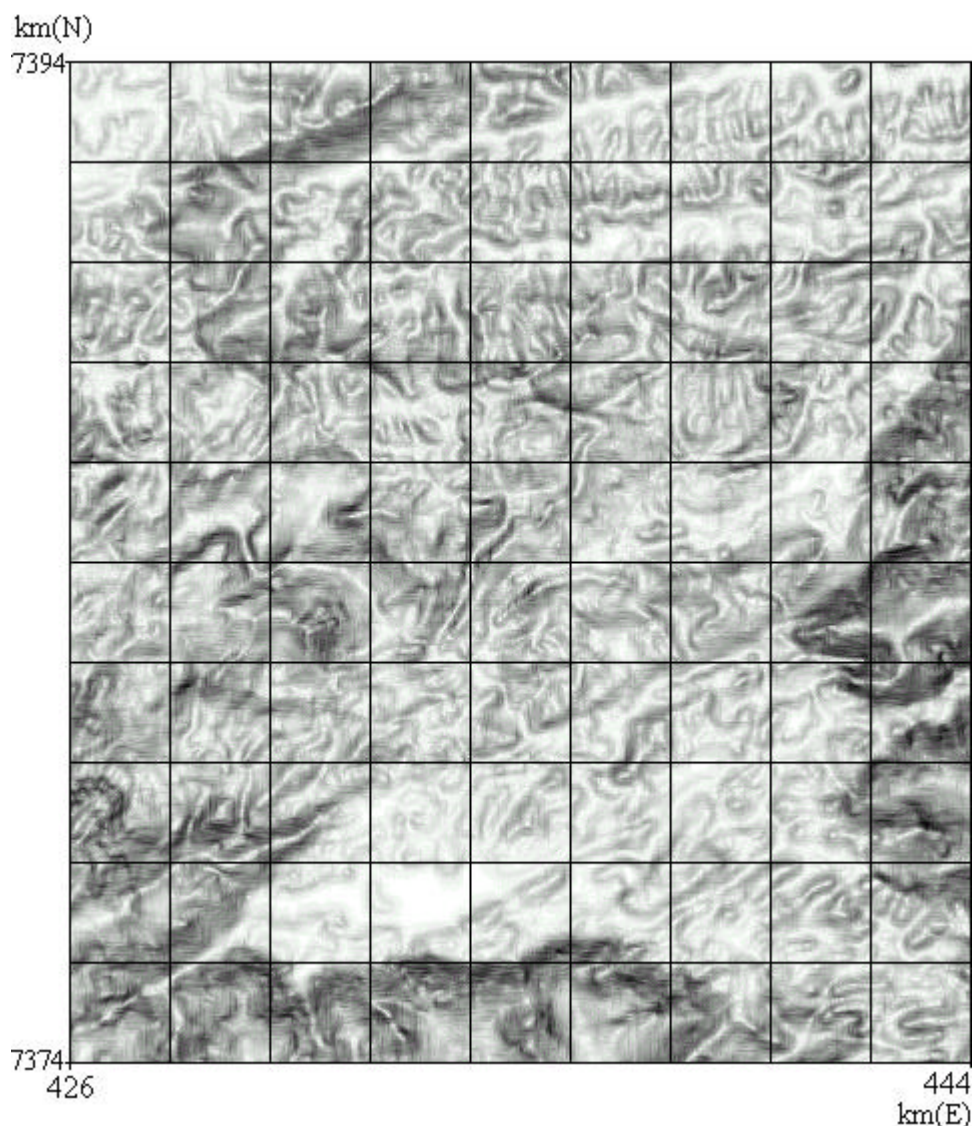


Figura 5 – Modelo Numérico do Terreno representado em relevo sombreado. Folha Pico do Papagaio.

Técnicas de visualização tridimensional do MNT, com controle da geometria de iluminação, podem auxiliar a percepção de canais de drenagem, bem como os divisores de água. Considerando as possibilidades de sombreamento nas encostas, a percepção completa dessas

feições só pode ser atingida sob ao menos 3 direções de iluminação, requerendo do intérprete a visualização conjunta de 3 imagens. A **Figura 5**, elaborada para simular uma iluminação vertical, oferece uma visão de todas as mudanças de declividade, independente do ângulo horizontal (azimute) de exposição. Somente grandes feições são perceptíveis e predominam na impressão visual as singularidades geomorfológicas principais como as encostas, os morros proeminentes, os vales e leitos de drenagem em sulcos. No produto correspondente (**Figura 6**), estas feições são removidas, restando ao intérprete classificar as zonas homólogas pelo critério de drenagem, em uma única imagem. As diferenças de densidade são imediatamente percebidas, podendo-se avançar às classificações de padrões. Os limites entre zonas homólogas podem se apoiar nas linhas de divisores de água, que separam bacias diferentes.

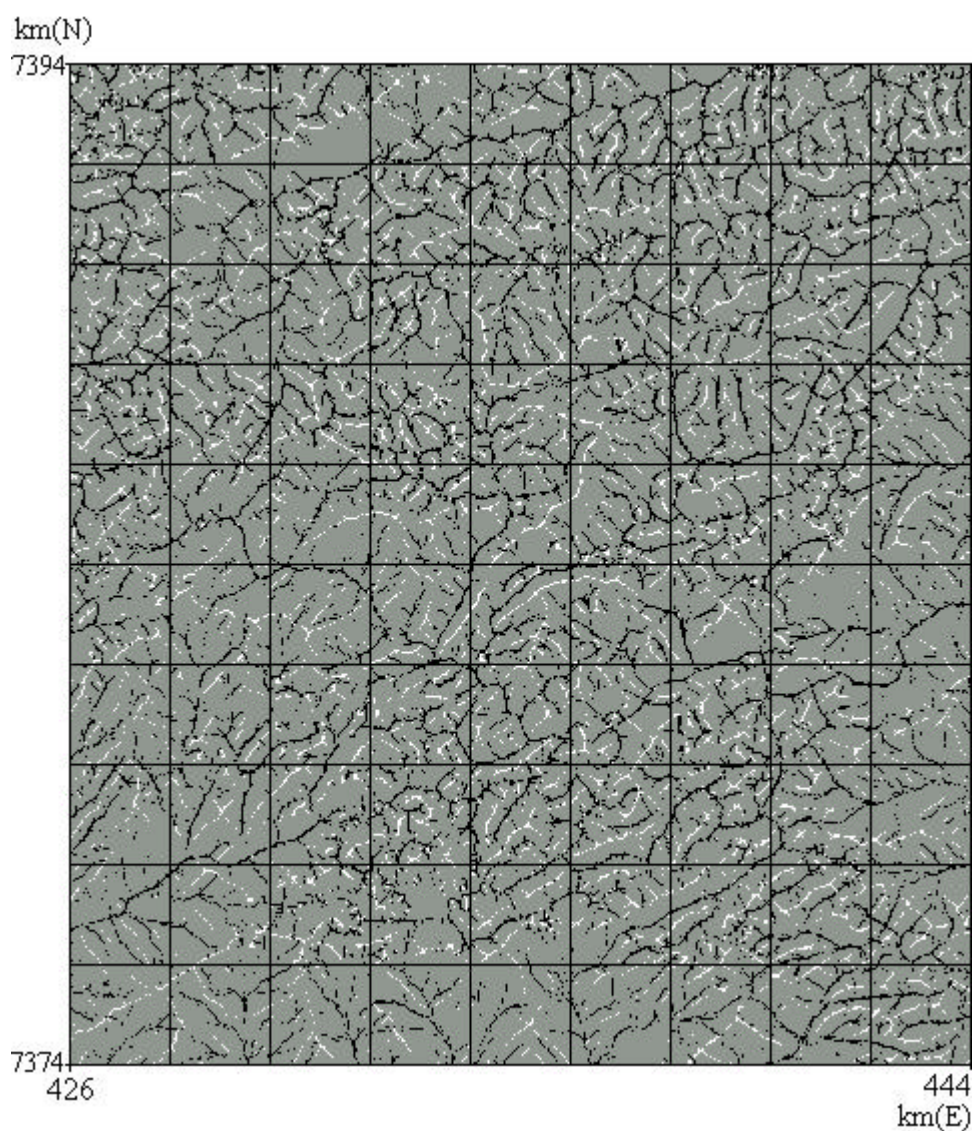


Figura 6 – Rede de drenagem (preto) e divisores de água (branco) extraídos por derivação do Modelo Numérico do Terreno (Figura 5). Folha Pico do Papagaio.

Conclusões

Os resultados do presente trabalho levaram às seguintes conclusões:

É possível fazer a derivação do modelo numérico do terreno com a aplicação de filtros de gradiente direcionais associada à operação de recursos básicos de SIG para a extração da rede de drenagem e divisores de água.

A derivação do Modelo Numérico do Terreno, pelos métodos experimentados, evidenciou a rede de drenagem e divisores de água em detalhamento maior do que originalmente representado em cartas planialtimétricas, facilitando a interpretação visual de aspectos texturais e estruturais da fisiografia.

As técnicas expostas superam a interpretação visual de fotografias aéreas eliminando o efeito de fatores da geométricos (iluminação/exposição) e de superfície que influem na perceptibilidade fotográfica destas feições.

Referências

- Bagheri, S.; Kiefer, R. W. Utilization of Landsat data in the detection of lineaments in the south central Alborz mountains of northern Iran. In: 51st Annual Meeting of the American Society of Photogrammetry – “Theodolite to satellite”, Washington D.C., March 10-15, 1985. **Technical Papers**, vol. 2, Falls Church, Va., A. S. P. Ed. 1985, pp. 481-491.
- Christofolletti, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blücher Ed., 1980.
- França, G. V. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Tese de doutorado, ESALQ/USP, Piracicaba, 1968.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Carta do Brasil, Escala 1:50000**. Ministério do Planejamento, 1973.
- Moniz, A. C. **Elementos de pedologia**. São Paulo, USP, 1972.
- Moretti, E., Koffler, N. F., Teixeira, A. L. A. Técnicas digitais para mapeamento de declividade e orientação de vertentes baseadas no uso de sistemas de informação geográfica. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, v.19, n.37/38. Pp. 29-52, 1989.
- Ricci, M.; Petri, S. Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica. São Paulo, Editora Nacional, 1965.
- Strahler, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basis and channel networks. In: Chow, V. T. **Handbook of applied hidrology**. New York, McGraw-Hill Book, sec. 4, cap.II, 1964.
- Valenzuela, C. R. Data analysis and models. In: Belward, A. S.; Valenzuela, C. R. **Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries**. Euro Courses: Remote Sensing, Netherlands: Kluwer, 1991. v.1, cap. 18, pp. 335-348.
- Valeriano, M. M. Estimativa de variáveis topográficas por geoprocessamento para modelagem da perda de solos. Tese de doutorado, IGCE/UNESP, Rio Claro, 1999.
- Valério Filho, M. Parâmetros da drenagem e do relevo na caracterização de solos e suas relações fotointerpretativas em imagens de pequena escala. Tese de doutorado, ESALQ/USP, Piracicaba, 1984.