

Discretização espacial de bacias hidrográficas

CAMILO DALELES RENNÓ¹
JOÃO VIANEI SOARES¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil
{camilo,vianei}@ltid.inpe.br

Abstract. A major problem in developing digital elevation models (DEMs) for hydrological applications is the realistic representation of flow through complex terrain. A contour-based DEM, which uses natural flow lines and contours to define the element network in the model, is an approach to represent hydrological processes that should model natural processes well. The goal of this paper is to compare this method with the one based on regular grids that is quite common in GIS as a whole. It was shown that regular grids render the topography smoother and the resulting flux lines appear to be unnatural.

Keywords: spatial partitioning, DEM, catchment, hydrology.

1. Introdução

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender o funcionamento dos processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudança do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (Whitehead e Robinson, 1993). Estes processos são, em sua essência, contínuos e tridimensionais. A análise espacial e temporal destes processos é bastante complexa, o que resulta na adoção de simplificações, que envolvem, entre outras coisas, a discretização espacial e temporal dos processos estudados. Neste trabalho serão abordados somente os aspectos referentes à discretização espacial de bacias hidrográficas.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma comparação entre duas metodologias de discretização espacial de bacias hidrográficas, uma utilizando técnicas baseadas em curvas de nível e outra utilizando grade regular.

2. Métodos de discretização espacial

Os caminhos de fluxo de água ao longo de uma bacia hidrográfica são determinados com base na topografia, que pode ser representada numericamente através de Modelos Numéricos de Terreno (MNT). Diferentes abordagens podem ser utilizadas para representar um MNT. A forma mais comum de representação de um MNT é a grade regular, onde um valor de cota é atribuído à cada elemento da grade. A grande maioria dos modelos hidrológicos distribuídos disponíveis utilizam esta abordagem devido sua fácil implementação (Collins e Moon, 1981). Entretanto, esta representação possui grandes desvantagens, uma vez que em geral não consegue representar corretamente mudanças abruptas de elevação e resoluções espaciais muito finas acabam por comprometer a eficiência computacional do modelo codificado, uma vez que muitos cálculos hidrológicos de diferentes relações funcionais, na superfície e no perfil do solo, devem ser repetidos para cada elemento da grade. Por exemplo, considerando-se que cada elemento da

grade relaciona-se com um único elemento vizinho, alterando-se a resolução espacial do elemento para metade, quadruplica-se o número de elementos. Como cada elemento é representado por um conjunto de atributos, o volume de dados a ser processado pelo modelo hidrológico pode aumentar muito quando a resolução espacial da grade torna-se mais detalhada. Outro problema inerente a este tipo de discretização é que o traçado dos caminhos de fluxos d'água sobre a superfície do terreno determinados a partir de grades regulares tende a produzir linhas em “zigzag”, já que as relações entre elementos vizinhos se dá em direções múltiplas de 45°, o que certamente não é uma representação realística. Adicionalmente, uma vez que grades regulares devem ser ajustadas de acordo com a rugosidade do terreno, estas produzem significativa redundância em partes mais planas do terreno, ou seja, uma grande número de células com atributos associados a fluxo de água semelhantes gerando um volume de cálculos enorme que poderia ser evitado (Moore et al, 1991). TINs (*triangulated irregular network*) são mais eficientes e flexíveis em tais circunstâncias, mas podem também apresentar problemas na determinação de fluxos d'água em regiões planas (triângulos planos). Finalmente, um terceiro método de representação do MNT baseia-se em curvas de nível. O método de fracionamento da bacia hidrográfica baseado em curvas de nível é um modo natural de estruturar modelos hidrológicos e de qualidade de água uma vez que é feito com base na mecânica de fluidos através da determinação de linhas de fluxo (Moore et al., 1993). Esta técnica de discretização é essencialmente vetorial e foi inicialmente proposta por Onstead e Brakensiek (1968). Um elemento típico neste tipo de discretização é representado por um polígono irregular formado por dois segmentos de curvas de nível e duas linhas de fluxo (**Figura 1**). Os modelos TAPES-C (Moore e Grayson, 1991) e Topog (Dawes e Short, 1994), utilizam este método de discretização.

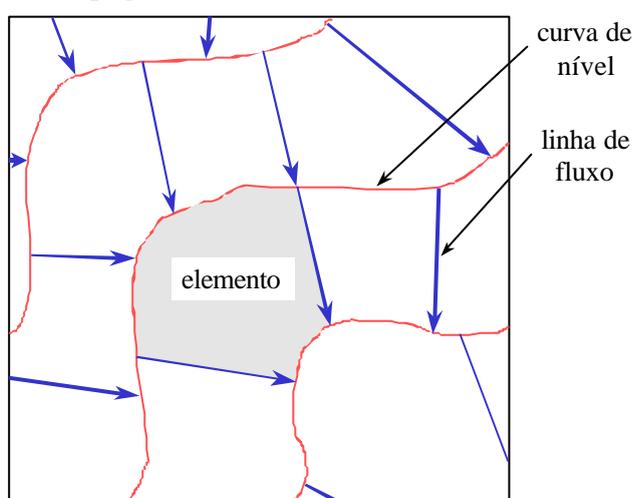


Figura 1 Definição de um elemento típico construído a partir de linhas de fluxo com base num MNT representado por curvas de nível

A grande vantagem da discretização baseada em curvas de nível é a simplificação das relações topológicas entre elementos, conservando a naturalidade destas relações. Conceitualmente, o percurso da água se dá sempre no sentido do declive e trocas entre elementos de mesma cota são desconsideradas. No entanto, deve-se considerar que as relações entre elementos quase sempre não são 1:1, uma vez que um elemento pode receber o fluxo d'água proveniente de mais que um elemento, e pode transferir o fluxo também para mais de um elemento (**Figura 2**). Por outro lado, grades regulares possuem relações topológicas implícitas,

mas essas relações só podem ser representadas em intervalos de 45°. Pela **Figura 3** pode-se observar que as direções de fluxo determinadas a partir de grades regulares não representam perfeitamente as verdadeiras linhas de drenagem (cursos d'água).

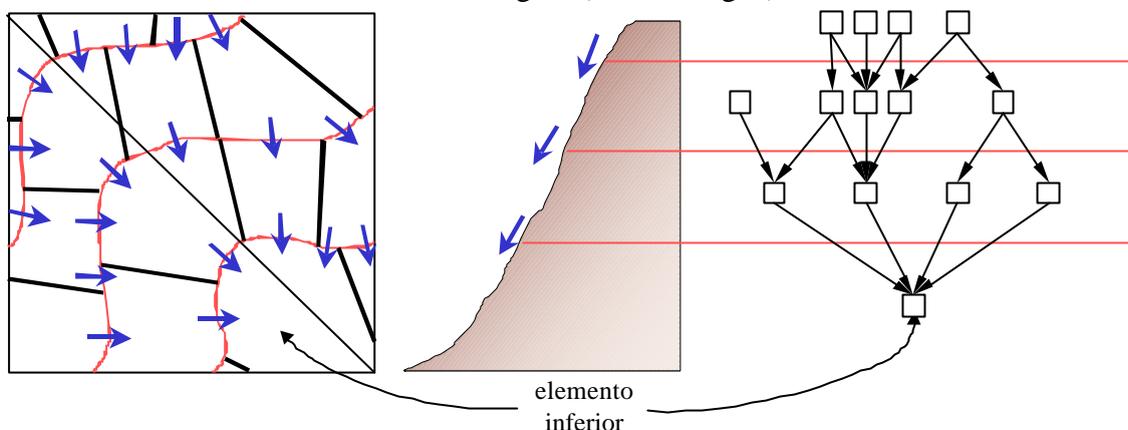


Figura 2 Relação topológica entre elementos definida pela direção dos fluxos

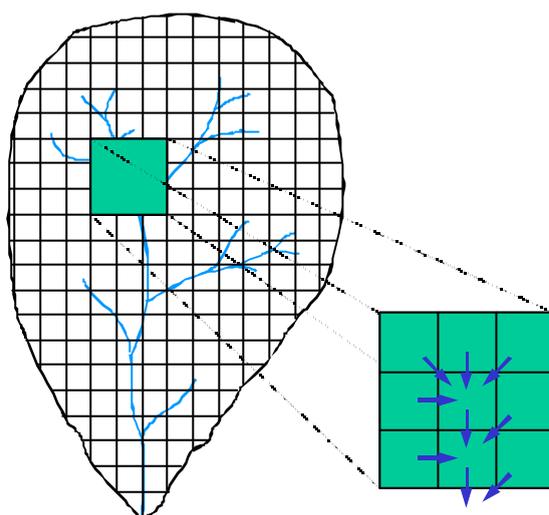


Figura 3 Direções de fluxo obtidas a partir de MNT em grade regular

3. Metodologia de comparação

Para este estudo, foi selecionada uma pequena bacia de um afluente do rio Corumbataí, que constitui parte da bacia do Rio Piracicaba, SP (**Figura 4**). Esta região de estudo localiza-se na parte norte da bacia do rio Corumbataí e, apesar da pequena área (~930 ha), apresenta uma certa complexidade topográfica.

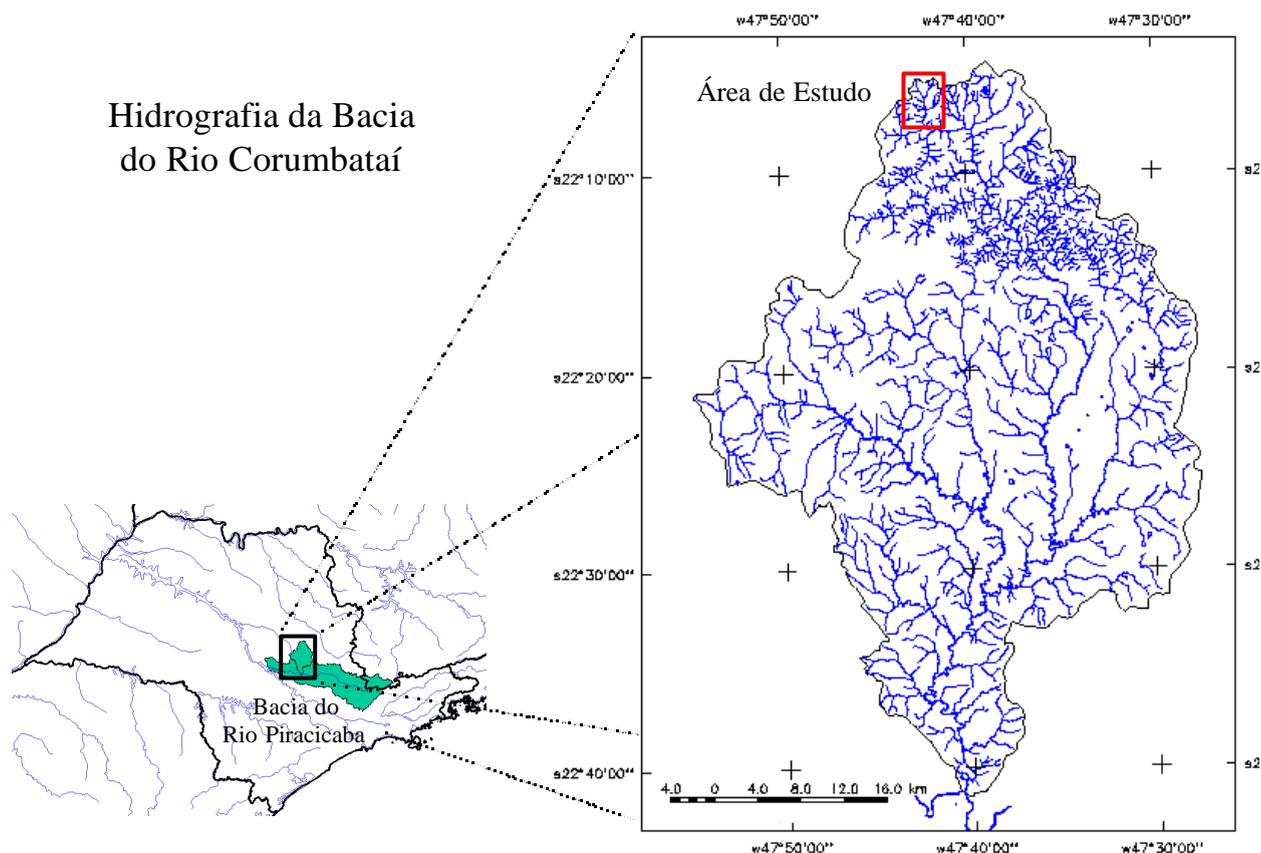


Figura 4 Localização da área de estudo

Inicialmente, a bacia foi discretizada utilizando-se o método baseado em curvas de nível. Para tanto, utilizou-se um conjunto de ferramentas desenvolvidas em IDL (*Interactive Data Language*) determinando-se, para cada elemento, linhas de fluxo com base na mínima distância entre curvas de nível e considerando-se também o ângulo que esta linha de fluxo faz com cada uma das curvas de nível que a originaram, garantindo desta maneira que as linhas sejam relativamente perpendiculares às curvas de nível. As curvas de nível utilizadas neste trabalho possuíam espaçamento vertical de 20 m e foram obtidas a partir de digitalização de mapas topográficos na escala de 1:50.000. Após a identificação dos elementos, calculou-se a área média de cada polígono irregular (elemento natural). A área média foi então utilizada para a determinação da resolução da malha da grade regular, para que ambas representações possuam o mesmo número de elementos. A geração da grade regular foi realizada pelo sistema de informação geográfica SPRING versão 3.4 a partir das mesmas curvas de nível utilizadas na determinação dos elementos naturais, adotando-se o método de média ponderada por quadrante. Para cada elemento (polígono irregular ou elemento de grade), foram calculados os valores de declividade e exposição.

Através de rotinas em IDL, foi determinada a direção do fluxo de água para a grade regular com base na direção de maior declividade, considerando-se apenas os 8 vizinhos mais próximos. Para os casos, onde duas ou mais direções apresentassem a mesma declividade, a direção de fluxo desse elemento foi considerada indeterminada. Este procedimento resultou numa grade de direções locais de drenagem, ou LDD (do inglês *Local Drain Directions*).

A fim de comparar a capacidade de ambos os métodos de discretização têm em representar caminhos de fluxos de água, utilizou-se a origem de cada linha de drenagem como ponto de partida no deslocamento de água sobre a superfície do terreno. Para a grade regular, o caminho foi determinado com base na LDD. Para o outro método, o caminho foi determinado com base na mínima distância entre curvas de nível, que representa a direção de maior declividade. Neste caso, foram desconsiderados os critérios restritivos presentes no método de discretização original.

4. Resultados e discussão

Com a discretização da bacia de acordo com as curvas de nível (elementos naturais), foram delimitados 1177 polígonos com área média de 7922 m², o que equivale a um elemento retangular de 89 x 89 m, definindo-se assim a resolução da grade regular.

A **Figura 5** apresenta a declividade média para cada elemento irregular obtido a partir da discretização baseada em curvas de nível (**Figura 5a**) e a declividade calculada sobre a grade regular (**Figura 5b**). Nota-se que a discretização em grade regular tende a suavizar o terreno, eliminando áreas mais acidentadas, assim como aumenta-se a proporção de áreas mais planas (declividade menor que 0,1), sempre quando comparada ao método dos polígonos naturais. Diferenças também podem ser observadas entre os mapas de exposição obtidos por ambos os métodos (**Figura 6**).

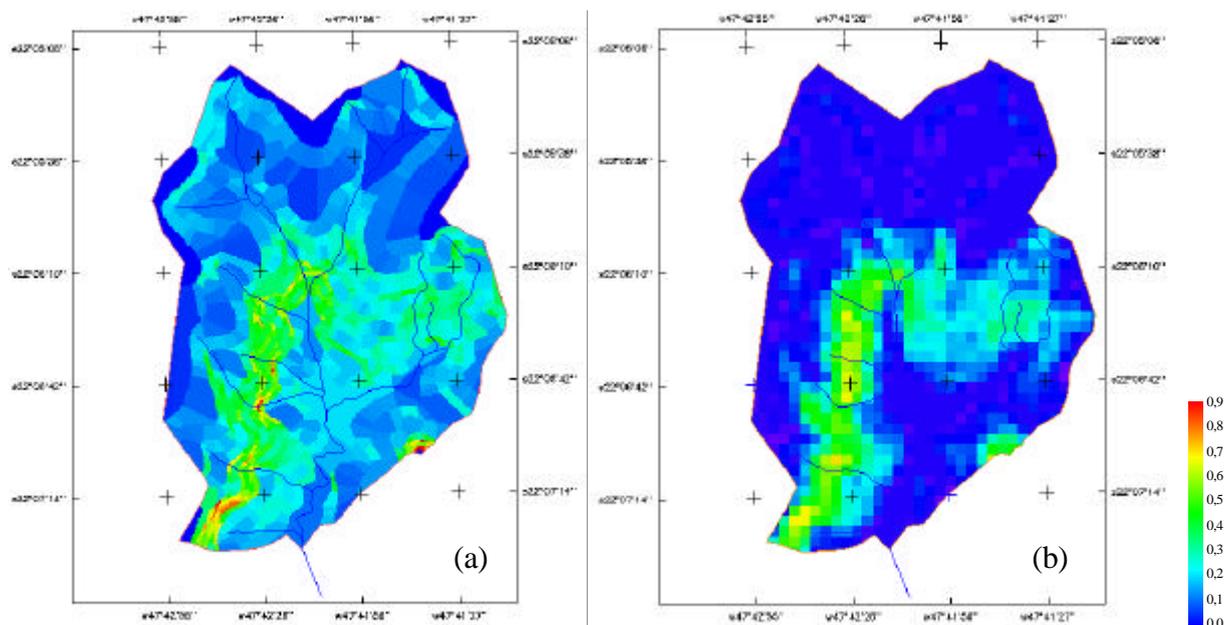


Figura 5 Mapa de declividade: (a) elementos irregulares e (b) grade regular

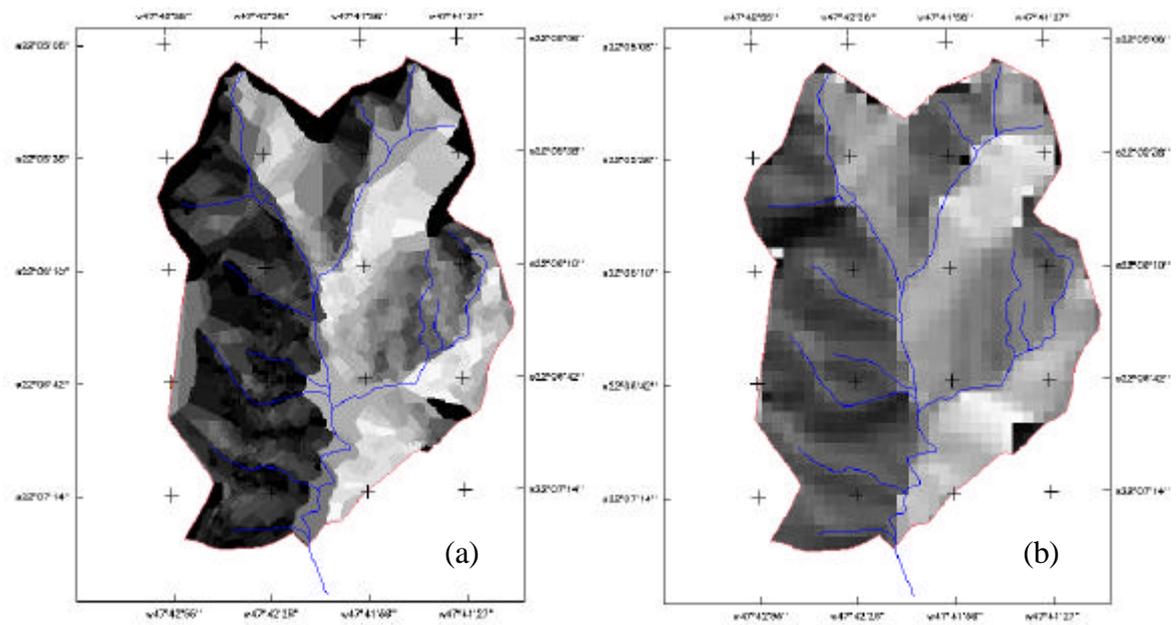


Figura 6 Mapa de exposição: (a) elementos irregulares e (b) grade regular

A principal diferença entre os dois métodos foi observada quando determinou-se as linhas de fluxo (**Figura 7**). O método baseado em curvas de nível tende a produzir uma maior densidade de linhas de fluxo em regiões de maior declive e dessa forma, representam melhor a variabilidade do terreno. É possível observar que as linhas de fluxo resultantes da grade regular são bastante irrealistas, não são contínuas e apresentam problemas em áreas planas, onde todos os elementos vizinhos a um determinado elemento possuem a mesma cota.

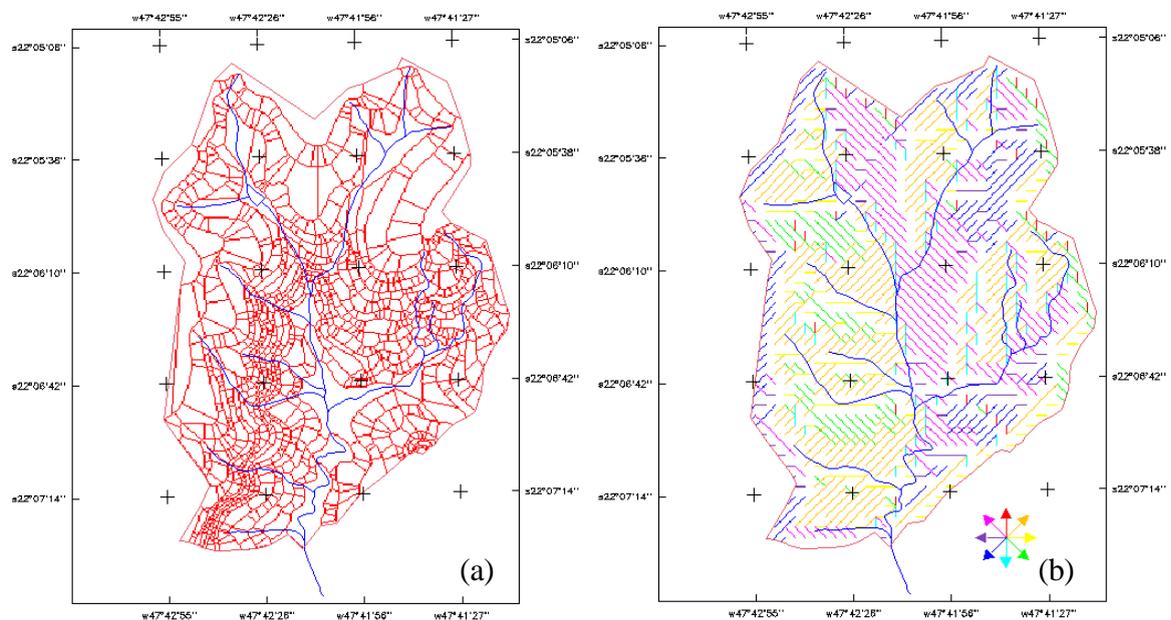


Figura 7 Linhas de fluxo calculadas a partir das curvas de nível (a) e da grade regular (b)

A **Figura 8** apresenta os caminhos da água na superfície do terreno obtidos por ambos métodos de representação do MNT a partir das origens dos cursos d'água presentes na bacia. Na **Figura 8a**, pode-se observar que os caminhos estimados a partir das curvas de nível representam bem a realidade. Apenas em regiões planas com meandros, este método apresentou problemas. No entanto, é importante ressaltar que em todos os casos, os caminhos conduziram à saída da bacia. Por outro lado, os caminhos estimados pela grade regular (**Figura 8b**) apresentam-se interrompidos e, em muitas vezes, não percorrem o verdadeiro percurso do curso d'água.

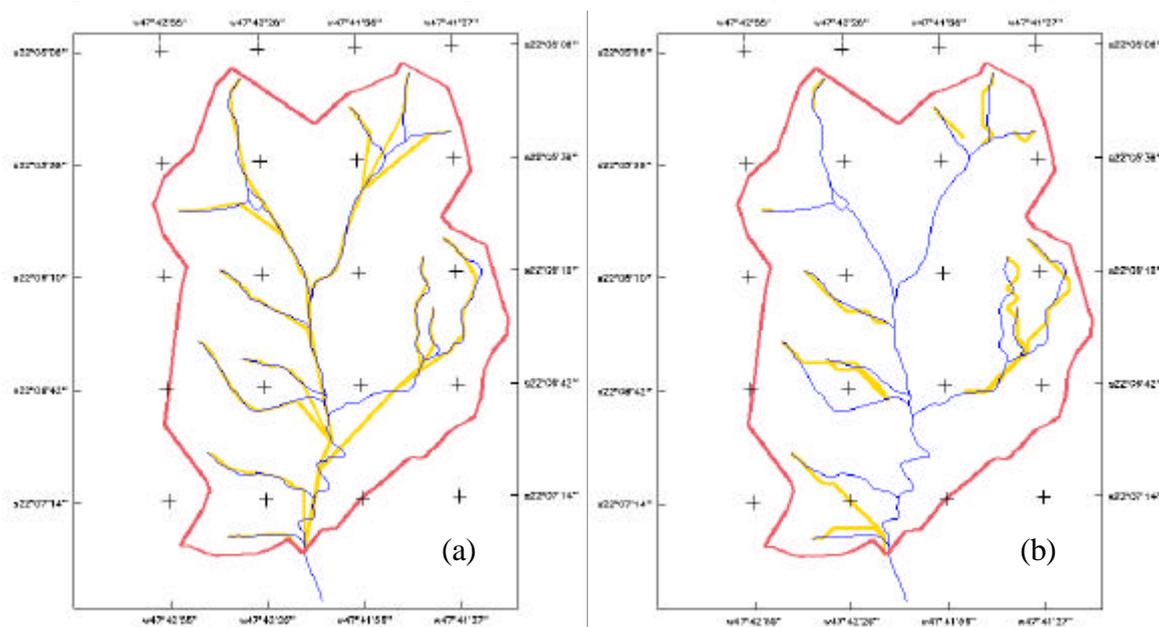


Figura 8 Linhas de drenagem calculadas (amarelo) a partir das origens dos cursos d'água (azul) baseando-se em curvas de nível (a) e grade regular (b)

4. Conclusão

A discretização espacial baseada em curvas de nível, que dá origem aos elementos naturais, produz, em geral, linhas de fluxos mais naturais e portanto podem representar melhor os processos hidrológicos de bacias hidrográficas. Grades regulares podem mascarar certas feições do terreno, especialmente em áreas com forte declividade.

As linhas de drenagem podem ser melhor estimadas a partir de curvas de nível, uma vez que a representação em grade regular tende a produzir áreas localmente planas, dificultando a definição da direção do fluxo superficial da água.

Referências.

- Collins, S.H.; Moon, G.C. Algorithms for dense digital terrain models. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 47:71-76, 1981.
- Moore, I.D.; Grayson, R.B.; Ladson, A.R. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological Processes**, 5:3-30, 1991.

- Moore, I.D.; Grayson, R.B. Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data. **Water Resources Research**, 27:1177-1191, 1991.
- Moore, I.D.; Turner, A.K.; Wilson, J.P.; Jenson, S.K.; Band, L.E. GIS and landsurface-subsurface process modeling In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T; ed.. **Environmental modeling with GIS**, New York, Oxford University Press, 1993. Cap. 19, p. 196-230.
- Onstad, C.A.; Brakensiek, D.L. Watershed simulation by stream path analogy. **Water Resources Research**, 4:965-971, 1968.
- Whitehead, P.G.; Robinson, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. **Journal of Hydrology**, 145:217-230, 1993.