

Determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no município de Campinas – SP

Marcos Cicarini Hott ¹
André Luiz Santos Furtado ¹
Carlos Antônio Álvares Soares Ribeiro ²

¹ Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite - EMBRAPA
Av. Dr. Júlio Soares de Arruda, 803 – Parque São Quirino
13088-300– Campinas – SP – Brasil
{marcos, andre}@cnpm.embrapa.br

² Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Viçosa
36571-000 – Viçosa – MG – Brasil
cribeiro@ufv.br

Abstract. The aim of this research was to examine the drainage network of the watersheds of Campinas county, using an automatic proceeding. Drainage basin morphometric parameters obtained by DEM such as watershed area, watershed perimeter, drainage density, stream density, and drainage network length were calculated as well as relief parameters such as relief ratio, watershed relief, relative watershed relief, and soil slope average. Indeed, the Campinas area has a strong human influence because of the pastoral areas, agricultural and urban areas, which modify the landscape. The morphometric analysis showed considerable differences among the watersheds. The first group was characterized by the largest watersheds as Atibaia and Capivari, the second group was represented by Anhumas and the third group was characterized by Capivari-Mirim, Jaguari and Quilombo. Concluding, the results indicated that the Anhumas, Capivari-Mirim and Quilombo might be more aptness for agriculture and Capivari for pasture. The largest watershed (Atibaia) show feature appropriate for the development of pasture and reforestation.

Palavras-chave: Watersheds, digital elevation model, morphometry, bacias hidrográficas, modelo digital de elevação, morfometria

1. Introdução

A bacia hidrográfica se configura atualmente como uma das principais unidades de gerenciamento territorial que dispomos nas atividades agrossilvipastoris, sendo modelada pelas condições geológicas e climáticas locais. Entretanto, em função do desenvolvimento da sociedade, cada vez mais, as bacias hidrográficas têm sofrido alterações na estrutura física dos canais, no aporte de sedimentos, na composição da biota, no regime hidráulico e no fluxo de matéria e energia. Tais alterações e o padrão espacial do uso e cobertura do solo têm importantes efeitos sobre a produção e transporte de sedimentos (Vanacker et al., 2005).

A hidrografia de uma bacia reflete a estrutura geológica (litológica e tectônica), a evolução morfogenética regional, o clima e as intervenções antrópicas. O uso das terras é a principal atividade humana que afeta a hidrografia de uma bacia, mas outras atividades, como a transposição, também podem causar consideráveis alterações (Snaddon et al., 1998; Latrubesse et al., 2005), definindo diferentes padrões ou modelos de drenagem básicos (dendrítico, paralelo, retangular, treliça, radial e anelar) e combinações de padrões (Cunha, 1994; Alcântara e Amorim, 2005).

Os dados de sensoriamento remoto orbital atendem à necessidade de informação em diversas escalas, representando um meio viável de monitoramento da superfície terrestre através de satélites e seus sensores, e vem servindo de fonte de informações para estudos e levantamentos geológicos, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, entre outros (Novo,

1988; Crósta, 1993). Os sensores medem a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos, sendo passivos se necessitarem de uma fonte de luz externa (e.g., TM do Landsat) e ativos, caso possuam fonte própria de radiação, tais como radares e laser (Moreira, 2001).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) fornecem meios para o tratamento de dados georreferenciados de forma eficiente, com qualidade e rapidez, através de customizações e automatizações que permitem a padronização de resultados.

Esta pesquisa tem por objetivo aprofundar o conhecimento das características físicas da hidrografia e fornecer um retrato da situação atual dos canais fluviais e pluviais das bacias hidrográficas dos ribeirões Anhumas e Quilombo, e dos rios Capivari, Capivari-Mirim, Jaguari e Atibaia no município de Campinas, a partir da confecção de um aplicativo em Arc Macro Language (AML) para automatizar a extração de parâmetros morfométricos, possibilitando uma análise temporal da evolução dos canais fluviais, a qual é fundamental para a aplicação de medidas mitigadoras e voltadas para o gerenciamento dos rios (Wasklewicz et al., 2004).

2. Material e método

2.1. Material

Campinas está situada na porção Centro-Leste do Estado de São Paulo localizada nas coordenadas geográficas 22°53'20" sul e 47°04'40" oeste (**Figura 1**), distando aproximadamente 100 km da capital do Estado. A área total do município é de aproximadamente 802,45 km². O relevo é predominantemente suave ondulado a ondulado com declives inferiores a 7%. Os solos campineiros são formados por latossolos vermelhos e vermelho-amarelos, argissolos vermelho-amarelos e nitossolos vermelhos, bem como gleissolos háplicos nos fundos de vales e terraços aluviais (Batistella et al., 2003). Neste trabalho foram utilizados o SIG ArcInfo Workstation 9.0 (ESRI, 2004) e o modelo digital de elevação (MDE) do município como fonte de dados altimétricos, com 10 metros de resolução espacial.

Para a geração do MDE do Município de Campinas (**Figura 2**) foram utilizadas curvas de nível vetorizadas das Cartas Topográficas do IBGE em escala 1:50.000.

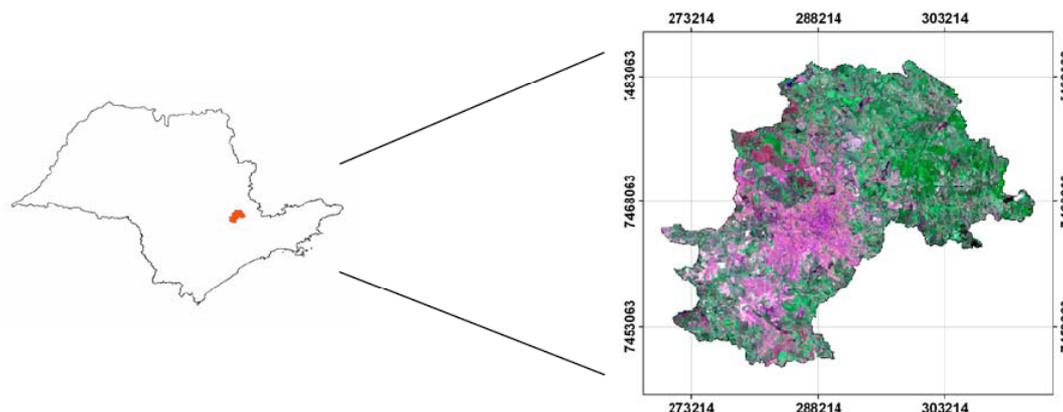


Figura 1 - O município de Campinas no Estado de São Paulo (BATISTELLA, *et al.* 2003).

Foram utilizados também os arquivos vetoriais de hidrografia (**Figura 3**) e drenagem, ambos na escala 1:50.000, limites das bacias, exutórios e nascentes.

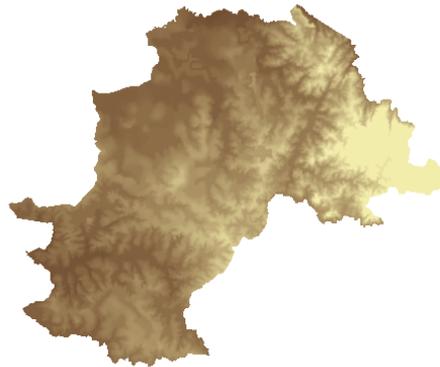


Figura 2 - Modelo digital de elevação do Município de Campinas.



Figura 3 – Delimitação das bacias hidrográficas de Campinas - SP.

2.2. Método

Para o desenvolvimento dessa metodologia foram usados parâmetros constantes em literatura e adaptados através da aplicação de técnicas envolvendo sistemas de informações geográficas (SIGs) e modelagem digital de elevação.

Um dos mapas digitais necessários para a execução do trabalho é o mapa raster de elevação ou terreno. Para a geração de um modelo digital de elevação é necessário lançar mão de uma fonte de dados altimétricos a partir de tecnologias, tais como radar, laser ou aerofotogrametria.

Neste trabalho, optamos por utilizar curvas de nível oriundas de restituição fotogramétrica. De posse das curvas de nível no formato digital, elas foram inseridas no módulo Topogrid do ArcInfo Workstation para a interpolação e geração do modelo digital de elevação com células (pixels) de 10 metros de resolução espacial, compatível com a escala de 1:50.000.

O processo de refinamento consiste basicamente na eliminação de eventuais depressões espúrias, as quais podem ser relatadas no arquivo de sinks gerado durante a interpolação das curvas de nível e são indesejáveis no estudo do escoamento superficial.

A derivação de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas demanda um trabalho árduo quando se utiliza métodos analógicos ou mesmo computacionais com interação do usuário.

Os recursos disponíveis no SIG permitem a eficiente obtenção de dados sobre os elementos e fenômenos envolvidos na estrutura das bacias representadas por modelos digitais.

Foram usados os seguintes arquivos: modelo digital de elevação da bacia, hidrografia mapeada, drenagem numérica, foz relativa à hidrografia mapeada, nascente relativa ao rio principal e limite da bacia hidrográfica

Os parâmetros escolhidos para determinação foram selecionados a partir do trabalho de Pissara et al.(2004).

Foram determinados os seguintes parâmetros relativos à drenagem da bacia: comprimento da rede de drenagem (m), área da bacia (m²), perímetro da bacia (m), número de segmentos de rios, densidade de drenagem (km/km²), frequência de rios (n^o/km²), razão de textura (n^o/km), extensão de percurso superficial (km) e coeficiente de manutenção.

Foram determinados os seguintes parâmetros relativos ao relevo da bacia: menor altitude (m), maior altitude (m), amplitude altimétrica (m), razão de relevo (m/m), razão de relevo relativo (m/m), índice de rugosidade, declividade média (%) e coeficiente de rugosidade

As ferramentas de modelagem hidrológica disponíveis no ArcInfo Workstation possibilitaram inserir consistência hidrológica no modelo digital, bem como refiná-lo para que o fluxo do escoamento superficial pudesse ser explorado para auxiliar na delimitação da bacia hidrográfica (**Figura 4**), no ordenamento da hidrografia e no posterior cálculo do número de segmentos de rios.

O fluxo superficial é representado por dados numéricos que representam direções e derivado através do modelo D8, utilizado pelo SIG ArcInfo Workstation 9 (**Figura 5**), no qual a direção resultante numa vizinhança 3 x 3 é atribuída ao pixel central e, assim, as conformações dessas direções materializam os vales existentes entre as elevações ou a rede de drenagem.

O ordenamento da hidrografia foi necessário para a individualização dos canais ou segmentos de rios existentes, pois as confluências de afluentes e tributários podem criar segmentos indesejáveis.

Assim, a ordem do segmento independe das confluências intermediárias existentes, sendo usado para tal o método de Strahler (**Figura 6**).

A obtenção de comprimento total dos arcos da drenagem e hidrografia, bem como dos valores de altitude máxima e mínima, foi possível com o uso de ferramenta estatístico do SIG.

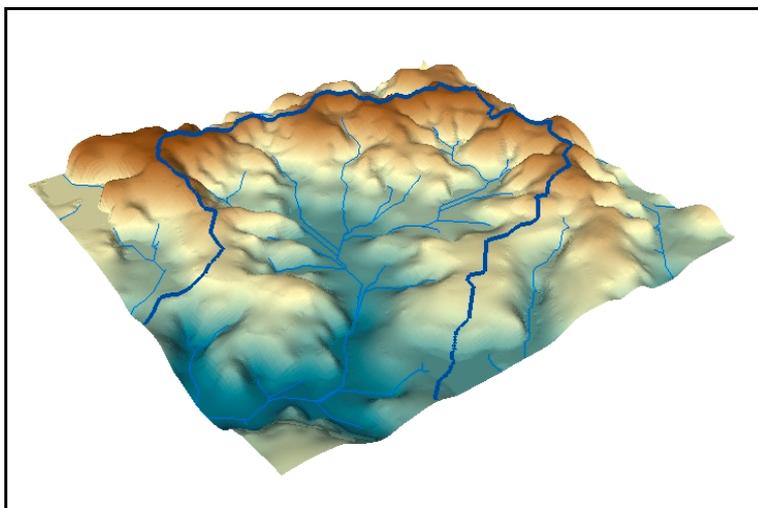


Figura 4 - Visualização tridimensional de uma microbacia hidrográfica de Campinas. As linhas azuis escuras representam os divisores d'água ou linhas de cumeadas.

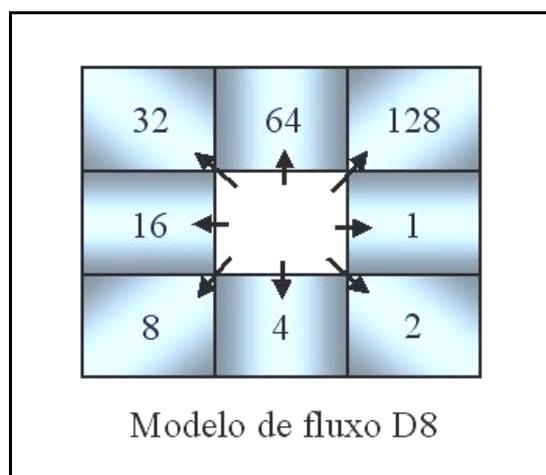


Figura 5 - Ilustração indicando como as direções de fluxo são representadas numericamente após sua determinação com o uso do MDE. As maiores diferenças de nível no terreno e declividades ao redor do pixel central resultarão na direção de fluxo que será atribuída ao pixel central, por meio do código numérico representado na figura.

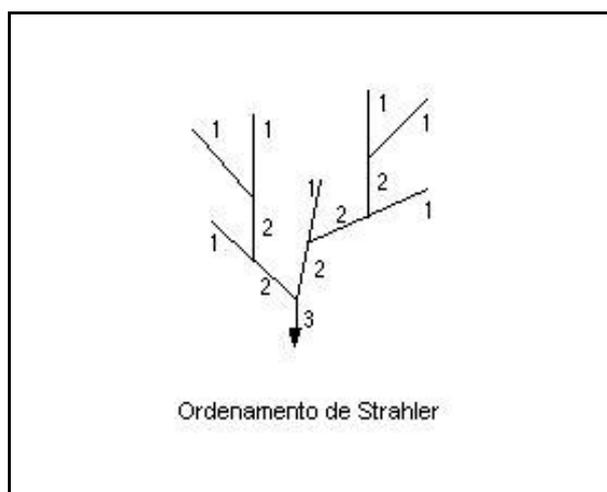


Figura 6 - Representação de uma ramificação hidrográfica e seu ordenamento pelo método de Strahler (1957). Os números indicam a ordem dos rios.

3. Resultados e Discussão

Obteve-se, como resultado, um aplicativo validado compatível com o SIG ArcInfo Workstation 9 para a determinação automática de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, e um relatório contendo todos os parâmetros de interesse calculados para as bacias do município de Campinas-SP, como mostra a **Tabela 1**.

Os mapas de hidrografia mapeada, drenagem, delimitação da bacia, foz da bacia, nascente do rio principal e modelo digital de elevação, bem como a escala de análise, são requisitados no início do processo e todos os cálculos são realizados.

Na **Tabela 1** são apresentados os parâmetros morfométricos calculados das bacias hidrográficas. As Bacias dos rios Atibaia e Capivari apresentam maior rede de drenagem, área e perímetro. A Bacia do Anhumas, comparativamente, pode ser considerada intermediária em relação a estes parâmetros e as bacias dos rios Jaguari, Capivari-Mirim e Quilombo são menores. O padrão de drenagem foi dendrítico exorreico, refletindo, em parte a geologia da

região, sendo que, em geral, este padrão é observado na presença de rochas com resistência uniforme.

Para todas as bacias estudadas, a densidade de drenagem foi baixa ($< 7,5 \text{ km/km}^2$; Christofolletti, 1969), principalmente, se considerarmos o nível de detalhamento da escala utilizada (1:50.000). Altos valores de amplitude altimétrica, como os observados, tendem a favorecer a formação de canais, mas altas taxas de infiltração da água no terreno, responsáveis pela redução da escavação, poderiam explicar a baixa Dd.

Fatores antrópicos como a urbanização e a agricultura podem provocar consideráveis alterações na Dd principalmente, devido à utilização dos recursos hídricos, sugerindo que, em Campinas, a disponibilidade de água poderá tornar-se crítica no futuro. Em geral, microbacias de grande porte ($> 40 \text{ km}^2$), como as analisadas neste estudo, tendem a apresentar valores de Dd variando de 3 a 4 km/km^2 (Collares, 2000).

O coeficiente de manutenção (Cr), que representa a área mínima para o desenvolvimento de um canal de drenagem, e a extensão de percurso superficial não mostraram acentuada diferença entre as bacias, apesar das diferenças nas características do relevo, como pode ser visto pelos valores de razão de relevo.

Tabela 1 – Parâmetros morfométricos calculados para as bacias de Campinas.

| Parâmetro | Unid. | Bacias | | | | | |
|-------------------|------------------------------|---------|---------|----------|-----------------|---------|----------|
| | | Anhumas | Atibaia | Capivari | Capivari -Mirim | Jaguari | Quilombo |
| Comp. Rede | km | 288,8 | 440,9 | 410,7 | 95,3 | 93,2 | 106,3 |
| Área | km^2 | 174,9 | 231,5 | 219,1 | 58,2 | 47,7 | 70,4 |
| Perímetro | km | 75,3 | 107,8 | 94,4 | 47,0 | 49,5 | 40,9 |
| Nº de Seg. | nº | 409 | 613 | 468 | 154 | 118 | 153 |
| Den. Drenagem | km/Km^2 | 1,6 | 1,9 | 1,9 | 1,6 | 1,9 | 1,5 |
| Freq.de rios | $\text{n}^\circ/\text{km}^2$ | 2,3 | 2,6 | 2,1 | 2,6 | 2,5 | 2,2 |
| Razão textura | $\text{n}^\circ/\text{km}^2$ | 5,4 | 5,7 | 5,0 | 3,3 | 2,4 | 3,7 |
| Perc.Superficial | km | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,3 |
| Coef.manuten. | m^2 | 605,9 | 525,2 | 533,5 | 610,8 | 511,7 | 662,5 |
| Menor altitude | m | 580,0 | 579,7 | 576,9 | 578,6 | 564,1 | 600,0 |
| Maior altitude | m | 766,1 | 1088,5 | 785,9 | 704,5 | 986,7 | 749,5 |
| Ampl. Altimét. | m | 186,3 | 508,7 | 209,0 | 125,8 | 422,6 | 149,6 |
| Razão de relevo | m/m | 0,0076 | 0,0002 | 0,0084 | 0,0070 | 0,0275 | 0,0101 |
| Razão rel. relat. | m/m | 0,0025 | 0,0047 | 0,0022 | 0,0027 | 0,0085 | 0,0040 |
| Índ. Rugosidade | | 307,5 | 968,7 | 391,9 | 206,0 | 825,8 | 225,8 |
| Decliv. Média | | 5,2 | 12,5 | 7,5 | 5,2 | 17,7 | 3,5 |
| Coef. Rugosid. | | 8,6 | 23,9 | 14,0 | 8,4 | 34,5 | 5,3 |

Mas, observou-se correlação linear negativa entre Cr e a declividade média ($r^2 = 0,73$; $n = 6$), indicando que as bacias com maior declividade proporcionam condições mais favoráveis à formação de canais, conseqüentemente, apresentam menor Cr. Como resultado, a velocidade de escoamento nas bacias Atibaia e, principalmente, Jaguari é superior que nas demais; nestas bacias a conservação da vegetação ciliar assume maior relevância para a prevenção das cheias e redução na erosão do solo.

O índice de rugosidade (Hd) entre as bacias variou consideravelmente, resultado das diferenças na amplitude altimétrica, uma vez que, a Dd foi similar para todas as bacias e não foi relacionado à área de cada bacia. A análise morfométrica mostrou acentuada diferenciação entre as bacias, podendo ser agrupadas em três grupos distintos com base na **Tabela 1**. Um grupo formado pelas maiores bacias, Atibaia e Capivari, um grupo intermediário, representado pela bacia Anhumas, e um terceiro grupo, no qual estariam inseridas as bacias Capivari-Mirim, Jaguari e Quilombo. Outro agrupamento pode ser feito com base no coeficiente de rugosidade (Baracuh et al., 2003). As Bacias Anhumas, Capivari-Mirim e Quilombo seriam mais aptas para atividades agrícolas e Capivari para a pecuária. A maior bacia da região, Atibaia, apresentaria características para o desenvolvimento da pecuária e florestamento e a menor bacia, Jaguari, mostra maior vocação para o florestamento. Contudo, considerando a declividade média (Dme), observa-se que a área mínima coberta por floresta na Bacia do Atibaia deve ser de 25%, enquanto que para a Bacia do Jaguari este valor deve ser duas vezes superior. As demais Bacias apresentaram Dme inferior a 10%, portanto, necessitando apenas de medidas conservacionistas.

Por outro lado, a análise de Cluster (**Figura 7**), também conhecida como análise de agrupamentos, que permite agrupar objetos semelhantes entre si.

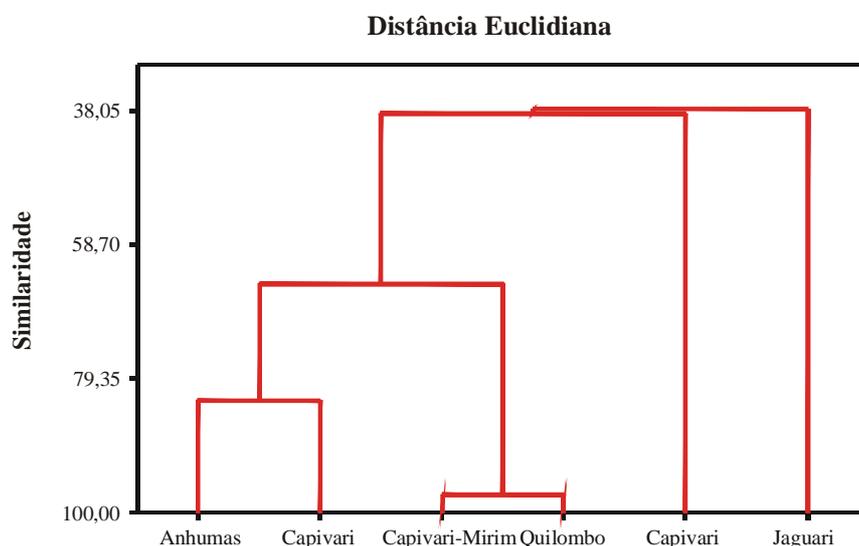


Figura 7 - Dendrograma obtido a partir dos dados presentes na **Tabela 1**.

4. Conclusões

O aplicativo desenvolvido em AML permitiu a realização dos cálculos com rapidez e a geração de parâmetros robustos para as bacias hidrográficas analisadas.

Com base no coeficiente de rugosidade, o qual pode fornecer informações sobre a aptidão das terras para atividades agropecuárias, as bacias do Anhumas, do Capivari-Mirim e do

Quilombo seriam mais aptas para atividades agrícolas, a bacia do Capivari para a pecuária. A maior bacia da região, do Atibaia, apresenta características para o desenvolvimento da pecuária e florestamento e a menor bacia, do Jaguari, mostra maior vocação para o florestamento.

5. Referências

- Alcântara, E. H.; Amorim, A. de J. Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo de caso. **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 14 p. 70-77, 2005.
- Baracuhy, J. G. de; Kurtz, S. M. de J. M.; Kurtz, F. C.; Duarte, S. M. A.; Lima, V. L. A. de; Rocha, J. S. M. da; Neto, J. D. Deterioração físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho Paus Brancos, Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.159-164, 2003.
- Batistella, M.; Guimarães, M.; Panciera, F.; Assis, M. C. de; Valladares, G. S. **Base de dados geográficos para o município de Campinas com ênfase no uso e cobertura das terras**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 45 p., il. (Documentos, 26).
- Collares, E. G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas**: aplicação na bacia do Rio Capivari, SP. 193 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000.
- Christofoletti, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 9, n.18, p. 35-64, 1969.
- Cunha, S. B. Geomorfologia fluvial. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (org.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 211-252.
- Crósta, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Ed. ver. Campinas: UNICAMP-IG, 1993. 164 p.
- ESRI. **Geoprocessing in ArcGIS**. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2004. 368 p.
- Latrubesse, E. M.; Stevaux, J. C.; Sinha, R. Tropical rivers. **Geomorphology**, v. 70, n. 3-4, p. 187-206, 2005.
- Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.
- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 308 p.
- Pissara, T. C.; Politano, W; Ferraudo, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 297-305, 2004.
- Snaddon, C. D.; Wishart, M. J.; Davies, B. R. Some implications of inter-basin water transfer for river ecosystem functioning and water resources management in southern Africa. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 1, n. 2, p. 159-182, 1998.
- Strahler, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of the American Geophysical Union**, v. 36, n. 6, p. 913-920, 1957.
- Vanacker, V.; Molina, A.; Govers, G.; Poesen, J.; Dercon, G.; Deckers, S. River channel response to short-term human-induced change in landscape connectivity in Andean ecosystems. **Geomorphology**, v. 72, n. 1-4, p. 340-353, 2005.
- Wasklewicz, T. A; Anderson, S.; Liu, P. S. Geomorphic context of channel locational probabilities along the lower Mississippi River, USA. **Geomorphology**, n. 63, n. 3-4, p. 145-158, 2004.