

Comparação do uso do SRTM para delimitação e caracterização fisiográfica de uma micro-bacia hidrográfica

Carlos Alexandre Gomes Costa ¹,
Alexandre Cunha Costa²,
Adunias dos Santos Teixeira¹,
Nilvia Nara de Lucena Alves¹,
Eunice Maia de Andrade¹,
Beatriz Fernandes Simplicio Sousa¹,
Alípio de Oliveira Leão³

¹ Universidade Federal do Ceará – UFC/ DENA
Caixa Postal 12168 - 60455-760 - Fortaleza - CE, Brasil
[alexandreagronomia; alexandreacunhacosta; beatrizsimplicio]@yahoo.com.br;
[adunias; eandrade]@ufc.br; nilvia.nara@gmail.com

³ Universidade Federal de Viçosa – UFV/ DEA
CEP: 36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
alpioleão@yahoo.com.br

Abstract: (Shuttle Radar Topography Mission) data have been used as an alternative of great interest for supply the lack of information relating to relief. Therefore, it's necessary a validation of these data. So, this work has the intention to compare the results attained between automatic delimitation and characterization of the micro-basin's hydrographic basin using a CRWR-PrePro extension with the SRTM and digital letter and characterized using Autocad. For treatment and analysis of data, a representation of the basins that compose area contained by the map of Numeric Model of Terrain using the Arc View/ CRWR-PrePro system and data generated using the digitalization of the letter of SUDENE. The results show a percent difference between the two methodologies adopted for the most of the attributes less than 15%. The use of SRTM data for a micro-basin with values of accumulation "threshold" five still presents differences in comparison of the Physiographic characterization.

Palavras-chave: Prepro, remote sensing, DEM, sensoriamento remoto

1. Introdução.

A caracterização do meio físico da bacia hidrográfica, com o intuito de levantar todas as áreas críticas do ponto de vista da manutenção da água, é condição básica para um planejamento bem sucedido da conservação e produção de água. Segundo Pereira (1973), citado por Lima (1987), a conservação da água não pode ser conseguida independentemente da conservação dos outros recursos naturais.

A bacia hidrográfica, fisicamente, é uma área cujo perímetro é determinado por divisores de água e no interior da qual apresenta-se uma rede de fluxos por onde se verifica a drenagem da água captada pelos divisores.

A perfeita caracterização da bacia hidrográfica requer o detalhado levantamento acerca de características topográficas como área e forma, densidade da rede de drenagem, comprimento e declividade da bacia e do canal principal (Gregory e Walling, 1973, apud Goldenfum 2001). Estes autores destacam ainda que, para a detecção de causas de alterações permanentes ou transitórias no comportamento da bacia hidrográfica, além das características topográficas, são necessárias características de rochas, solos e sedimentos e também da cobertura vegetal.

A obtenção dos dados que subsidiem a caracterização de uma bacia tem sido facilitada sobremaneira através da Modelagem Numérica do Terreno (MNT). Estes são comumente empregados em hidrologia, devido ao fato dos canais de escoamentos superficiais serem controlados pela topografia (Moore et al., 1991). MNT são usados para analisar rede de fluxos

(Tarboton, 1991), definir potencial de erosão (Ludwig et al., 1996) dentre outras aplicações. Todos os trabalhos, acima citados, buscam variáveis morfométricas, determinadas por operações de conectividade ou vizinhança (Valenzuela, 1991). Conseqüentemente, há uma estreita dependência destas variáveis em relação à exatidão relativa dos MNT (Valeriano, 2004). As mudanças no relevo em decorrência das modificações em nível da paisagem, podem afetar de maneira significativa os modelos hidrológicos. No Brasil, a maioria dos estudos hidrológicos, seguem as informações topográficas existentes nas cartas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entretanto, editadas em 1977, essas cartas não representam a paisagem atual. A recente coleta de dados topográficos por técnicas de sensoriamento remoto, como os dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), tem se mostrado como alternativa de grande interesse para suprir a carência de informações relativas ao relevo. O quadro de defasagem da rede hidrográfica brasileira e primordial a atualização dessas informações.

A extensão Spatial Analyst do software ArcView GIS, com ferramentas incorporadas pelo Centro de Pesquisa de Recursos de Água da Universidade do Texas, em Austin, e outras organizações, é bastante adequada à geração de uma MNT (Olivera, 1998). O sistema de caracterização de bacia é atualmente denominado CRWR-PrePro onde o PrePro representa Pré-Processador de dados de SIG para modelos de hidrologia.

Olivera (2001) utilizou a extensão CRWR-PrePro para obtenção de parâmetros de uma bacia hidrográfica necessários à simulação hidrológica através do software Hydrologic Modeling Systems – HMS do U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

A micro-bacia experimental de Aiuaba, foi objeto de estudo deste trabalho. Assim, o presente trabalho teve como objetivo comparar os resultados obtidos entre o delimitação automática e caracterização da bacia hidrográfica de Aiuaba a partir da extensão CRWR-PrePro com uso do SRTM e carta planialtimétrica digitalizada e caracterizada a partir do Autocad.

2. Material e métodos

Para realização desse estudo, utilizaram-se dados SRTM com resolução espacial de 92 metros, copiados da rede mundial de computadores diretamente do endereço <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>. O sobrevôo da SRTM ocorreu no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, durante o qual foram percorridas 16 órbitas por dia, num total de 176 órbitas. O sobrevôo foi concluído com a coleta de 12TB de dados que vêm sendo processados para a formação MNT (Valeriano, 2004)

Os dados físicos que caracterizam as bacias em estudo foram estimados a partir de mapas na escala 1:100.000 do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (SGE) obtidos na Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e digitalizados a partir do software Autocad para a micro-bacia experimental de Aiuaba. A opção por trabalhar com mapa, na escala citada acima, decorre do fato de que eles apresentam maiores detalhes, principalmente, no que concerne à variáveis como a densidade de drenagem e comprimento dos cursos d'água. Estes dados são utilizados para posterior comparação dos resultados com os dados SRTM e delimitação automática.

Para tratamento e análise dos dados, foi realizado o delineamento das bacias que compõem a área abrangida pelo mapa do Modelo Numérico do Terreno utilizando o software Arcview 3.2 através do sistema CRWR-PrePro.

O primeiro passo foi retirar os possíveis sinks (Fill Sinks) dos dados SRTM. Um sink é uma área rodeada por elevações com valores de cotas superiores, que pode ser associada a uma depressão. É o primeiro tratamento dado à matriz de altitudes, o qual consiste no preenchimento de pequenas depressões que possam ser originadas, erroneamente, no processo

de montagem da MNT e da grade digital de elevação. Estas depressões ou sinks são consideradas impedimentos ao escoamento, quando da aplicação de modelos chuva-vazão, modelos sedimentológicos e de poluentes de origem difusa sendo preenchidas levando em consideração as altitudes dos pixels vizinhos (Mendes e Cirilo, 2001).

Em seguida, foi definida a direção de fluxo de água (Flow Direction). A direção de fluxo determina a direção de maior declividade de um pixel em relação a seus 8 pixels vizinhos. Tem a finalidade de montar uma grade digital onde o valor de cada pixel representa a direção do escoamento da água. Cada pixel recebe um valor que representa a direção para onde a água segue se aí chegar. Esta direção será aquela que levará a água para o pixel vizinho de menor valor de altitude (Mendes e Cirilo, 2001).

Após a elaboração dos arquivos de direção de fluxo, foi realizado o cálculo das direções de fluxo acumuladas (Flow Accumulation), o qual representa a rede de drenagem sendo possível montar uma nova grade, contendo os valores de acúmulo da água em cada pixel. Cada pixel recebe um valor correspondente ao número de pixels que contribuem para que a água chegue até ele. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento) (Mendes e Cirilo, 2001). A definição da rede de drenagem foi feita a partir da direção de fluxo acumulado.

Na grade de definição de curso, os pixels que na grade de acúmulo de fluxo for maior ou igual ao valor mínimo determinado, recebem valores que identificam a passagem de um curso de água (CRWR-Prepro /Stream Definition -Threshold) que a partir da grade de acúmulo de água, determina-se o valor mínimo de acúmulo para se originar um curso de água, e assim, constrói-se uma grade com a definição de fluxos. Segundo Mendes e Cirilo (2001), este valor mínimo do Threshold depende da MNT, bem como dos objetivos do trabalho. Usou-se um valor de 5 para o “threshold” deste trabalho devido à melhor justaposição com a carta topográfica da SUDENE para a micro-bacia de Aiuaba.

A partir da grade de definição de fluxos é possível definir os cursos d’água presentes na grade (CRWR-Prepro /Add Streams). A função Add Streams adiciona as linhas que representam os cursos obtidos nesta fase.

A função através da qual os fluxos que compõem a grade de fluxos são segmentados, (CRWR-Prepro / Stream Segmentation - Links), de maneira que cadeias de pixels que representam trechos de rios entre uma bifurcação e outra, ou entre o início de um trecho e uma bifurcação ou, ainda, entre uma bifurcação e o último píxel da área considerada, recebem os mesmos valores (cores), identificando os pixels que pertencem a uma micro-bacia.

CRWR-Prepro / Outlets from Links, é uma função que permite visualizar os pixels onde ocorrem os maiores valores de acúmulo de fluxos de cada segmento de curso. Sendo o último pixel do trecho do curso antes da bifurcação com outro trecho. O CRWR-Prepro / Sub-Watershed Delineation, é utilizado após a determinação dos trechos de fluxos e seus respectivos outlets. Proceda-se com o delineamento das sub-bacias correspondentes a cada trecho determinado. As sub-bacias são delimitadas pelo conjunto de pixels que contribuem para a o acúmulo de água no seu “outlets”.

Para a conclusão da delimitação utiliza-se a vetorização, que consiste na união das diagonais e lados dos pixels que compõem os cursos e divisores de água das bacias (CRWR-Prepro /Vectorize Streams and Watersheds). Com os processos acima descritos, obtêm-se as sub-bacias e os cursos a elas pertencentes na forma raster. Com a função Vectorize Streams and Watersheds, estes elementos podem ser vetorizados.

Como uma bacia é composta por várias pequenas bacias, e estas por sua vez possuem uma área muito limitada, e, na maioria das vezes o que se deseja é uma área mais abrangente,

a função Merge Sub-watersheds (CRWR-Prepro /Merge Sub-watersheds) permite a fusão de duas ou mais microbacias para compor a bacia de interesse.

Paralelamente, sobre o mapa altimétrico da Bacia Experimental de Aiuaba, foi realizado o delineamento da bacia digitalizada e avaliada quanto aos parâmetros físicos considerando os dados gerados a partir da carta da SUDENE.

A micro-bacia delimitada e caracterizada pelos dois métodos, tendo sido determinados os seguintes atributos: perímetro e área da bacia, comprimento da rede de drenagem, densidade da rede de drenagem, comprimento e declividade do curso principal, declividade média da bacia, fator de forma e coeficiente de compacidade, altitude máxima e mínima, sinuosidade do rio principal, extensão média do escoamento superficial e tempo de concentração:

- Densidade da rede de drenagem (Dd)

$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n L_{ci}}{A_b} \dots\dots\dots(Eq. 1)$$

Onde: Dd: densidade de drenagem, km.km-2; Lci: comprimento do i-ésimo curso, km; Ab: área da bacia, km².

- Declividade do curso principal (Dcp)

$$D_{cp} = \frac{h_{15\%N} - h_{10\%F}}{0,75L_{cp}} \dots\dots\dots(Eq. 2)$$

Onde: Dcp : declividade do curso principal, m.km-1; h_{15%N} : cota a 15% do comprimento do curso principal, partindo da nascente, m; h_{10%F} : cota a 90% do comprimento do curso principal, partindo da nascente, m; Lcp : Comprimento do curso principal, km.

Observa-se que na determinação da Dcp, 15% do seu curso partindo da nascente e 10% antes de chegar à sua foz não foram considerados por serem regiões extremas onde na primeira a declividade é muito acentuada e na outra, ao contrário, praticamente inexistente. Tais regiões proporcionariam uma medida distorcida da real declividade do curso principal.

- Comprimento da bacia (Lb):

O comprimento da bacia foi obtido pela medida da distância entre a sua foz e o ponto localizado no perímetro da bacia que a divide ao meio.

- Fator de forma da bacia.

$$R_f = \frac{A_b}{L_b^2} \dots\dots\dots(Eq. 3)$$

Onde: Rf: relação de forma da bacia, adimensional; Ab: Área da bacia, km²; Lb: Comprimento da bacia, km;

Quanto mais próximo da unidade o fator de forma (Rf), mais quadrada é a forma da bacia. Formas retangulares são observadas em valores afastados da unidade.

- Coeficiente de compacidade

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A_b}} \dots\dots\dots(Eq. 4)$$

Onde: Kc: coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius da bacia, adimensional; P: perímetro da bacia, km; Ab: área da bacia, km²;

O coeficiente de compacidade é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho; quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o

coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual a unidade corresponderia a uma bacia circular. Se os outros fatores forem iguais, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente (Villela e Mattos, 1975).

- Sinuosidade do rio principal

$$\text{Sin} = \frac{\text{Lcp}}{\text{Lt}} \dots\dots\dots(\text{Eq. 5})$$

Onde: Sin: Sinuosidade do curso principal, adimensional; Lcp: comprimento do curso principal, km; Lt: comprimento do talvegue, km²;

A sinuosidade do curso principal é um fator controlador da velocidade de escoamento. A condição para que não exista sinuosidade do curso principal é o valor correspondente a uma unidade.

- Tempo de concentração da bacia

$$\text{T}_c = 0,191 \times \text{Lcp}^{0,5} \times \text{Db}^{-0,19} \dots\dots\dots(\text{Eq. 6})$$

Onde: T_c: Tempo de concentração, h; Lcp: comprimento do curso principal, km; Db: declividade da bacia, %;

De acordo com Silveira (2005) a equação acima citada, Corps of Engineers, é a mais indica e consistente para dados de bacias até 12.000 km². Por isso a utilização desta para o cálculo do tempo de concentração da bacia.

- Extensão média do escoamento superficial

$$\text{Ext}_{\text{runoff}} = \frac{\text{Ab}}{4 \text{Lcp}} \dots\dots\dots(\text{Eq. 7})$$

Onde: Ext_{runoff}: Extensão média do escoamento superficial, km; Ab: área da bacia, km²; Lcp: comprimento do curso principal, km;

3. Resultados e discussão

O processo tradicional para geração de modelos digitais de elevação, contemplando a digitalização de cartas topográficas, demanda mão-de-obra e tempo expressivos, de modo que a utilização de bases digitais representa uma alternativa de grande interesse. A utilização da extensão CRWR PrePro demanda maior disponibilidade de tempo e mão de obra justamente em sua primeira etapa que é a obtenção da grade regular de pontos, uma vez obtida a referida grade, torna-se possível a geração da modelagem numérica do terreno. Utilizando os dados orbitais da SRTM na geração de modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes, viabiliza-se a extração de variáveis físicas das bacias hidrográficas em SIG em menor intervalo de tempo.

A **tabela 1** apresenta os valores dos elementos geográficos da caracterização da micro-bacia experimental de Aiuaba, obtida por ambos os métodos e ainda a variação absoluta e percentual entre os dois métodos.

Observa-se, através da **tabela 1**, que a diferença percentual entre as duas metodologias adotadas, para a maioria dos atributos, foi inferior a 15%. Tais diferenças, devido à sua magnitude, podem ser irrelevantes, levando à adoção do mesmo tratamento ou manejo da bacia por parte dos gerenciadores dos recursos naturais. Vale ressaltar que mesmo no método manual, devido à constante interferência do seu executor, dificilmente serão obtidos resultados iguais por ocasião de uma ou mais repetições.

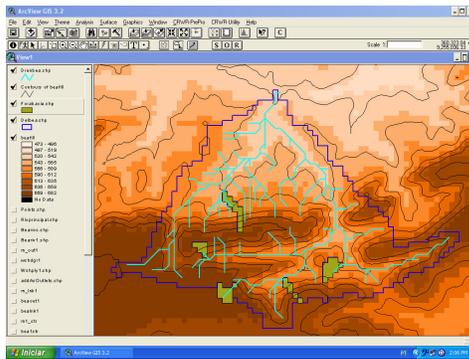
As discrepâncias entre os resultados dos dois métodos, constantes da **tabela 1**, podem ser explicadas por diferenças entre a Modelagem Numérica do Terreno e o mapa altimétrico. Estas diferenças são resultantes de uma certa dose de subjetividade tanto na determinação das curvas de nível quando da confecção do mapa altimétrico, como na interpolação realizada entre as mesmas para determinação da altitude do ponto que compõe a grade de pontos. A resolução da grade gerada também pode contribuir para as diferenças de resultados.

Tabela 1 – Comparação da caracterização fisiográfica da micro-bacia experimental de Aiuaba–CE obtida pelo sistema CRWR-Prepro com uso do SRTM e sistema manual.

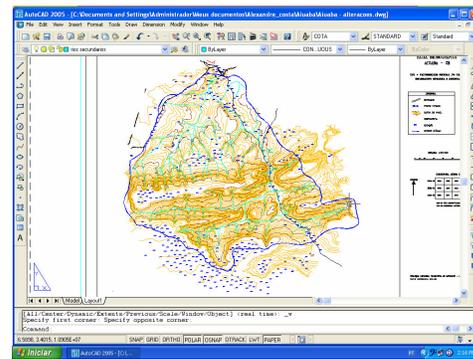
Parâmetro	Und.	SRTM	Manual	Variação (abs)	Variação (%)
Altitude máxima	m	682,00	670,00	12,00	1,76
Comprimento do rio principal	km	6,28	6,45	0,17	2,59
Sinuosidade do rio principal	(-)	1,82	1,87	0,05	2,59
Tempo de concentração	h	1,77	1,92	0,15	7,85
Área	km ²	12,65	11,53	1,12	8,85
Altitude mínima	m	473,00	530,00	57,00	10,75
Fator de forma	(-)	0,29	0,25	0,04	13,26
Comprimento da rede de drenagem	km	39,20	46,53	7,33	15,76
Coefficiente de compacidade	(-)	1,53	1,26	0,27	17,65
Densidade da rede de drenagem	km/km ²	3,10	4,04	0,94	23,21
Extensão média do escoamento superficial	m	80,68	61,95	18,73	23,21
Declividade do curso principal	m/km	12,67	9,15	3,52	27,79
Perímetro	km	29,58	15,22	14,36	48,54

Segundo Burroug (1986), na representação vetorial, as linhas e polígonos na estrutura raster constituem-se de conjunto de coordenadas ou pixels interligados. Uma vez que, após a vetorização pelo método automático, as medidas dos vetores são as medidas dos segmentos de retas que os compõem e ainda, que estes segmentos de reta ligam dois pixels vizinhos, obteve-se, como resultado da vetorização, linhas não suavizadas, diferentemente das carta digitalizada, onde se observou a suavização das curvas, mesmo após sua digitalização na interface normal do Autocad (**figura 1**). Pode-se afirmar que de tal fato resultam as maiores diferenças obtidas entre os métodos automático e manual, principalmente nos atributos de medidas lineares como perímetro da bacia, extensão média do escoamento superficial e comprimento da rede de drenagem, o que influencia na alta variação dos valores da densidade de drenagem (**tabela 1**). Esta observação é ainda ratificada por Bonham-Carter (1997), ao afirmar que uma cadeia de pixels interconectados é um modo grosseiro de representar linhas. Na delimitação algumas pequenas bacias que compõem a bacia de Aiuaba não foram mescladas e adicionadas a bacia, apresentando um erro, mesmo que não tenha influenciado nos resultados da caracterização mas que são menos frequentes em valores de “threshold” maiores.

Os atributos relacionados à forma da bacia (fator de forma e coeficiente de compacidade), indicam uma forma menos alongada da bacia quando submetida ao processo automático. Este resultado é comprovado quando se verifica que a bacia, delimitada pelo processo manual, apresentou uma variação maior no perímetro e menor para a área.



(a)



(b)

Figura 1 – Representação do DEM e da área em estudo no Arc view (a) e a carta digitilizada no Autocad (b) com suas curvas de nível .

O perfil longitudinal do curso principal como variável de avaliação das duas metodologias apresentou-se como pequeno afastamento e tendência a manter-se diferença estabilizada. Isso pode ocorrer devido ao tamanho de pixel que pode esconder alguns valores de altitude ao longo do rio (**figura 2**).

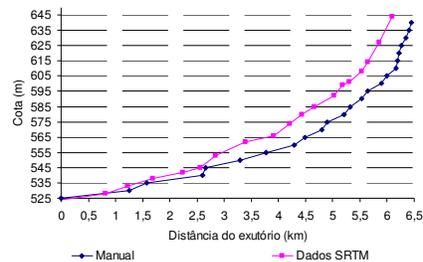


Figura 2 – Comparação do perfil longitudinal da micro-bacia experimental de Aiuaba-CE obtido pelo sistema CRWR-Prepro com uso do SRTM e carta da SUDENE escala 1:100.000.

Leão (2004) em estudo em uma micro bacia de 3,3 km² encontrou pequena variação na determinação dos parâmetros fisiográficos em relação ao método manual. Gouvêa et al., (2005) mostraram que os dados SRTM apresentaram melhor detalhamento e acurácia quando comparadas às cartas do IBGE na escala de 1:250.000. Nóbrega et al., (2005) ao comparar MDE gerados por aerofotogrametria e dados SRTM obteve resultados satisfatórios para a representação da superfície física do terreno. No entanto, foi detectado algumas regiões fogem a essa regra, talvez devido à presença maciça de edificações que, embora baixas, podem ter interferido na detecção da superfície física do terreno por parte do sistema sensor na sua área de estudo. Quantitativamente, as análises revelaram para os estudos de Nóbrega et al., que pode, em muitos casos, dependendo da escala e da margem de erro em questão, induzir aos usuários trabalharem com dados inapropriados. Porém os autores concluem que o MDE gerado pelo SRTM tem um bom comportamento para a região em questão.

4. Conclusões

A utilização dos dados SRTM para uma micro-bacia com valores de acumulação “threshold” igual a cinco ainda apresenta diferenças consideráveis na comparação da caracterização fisiográfica.

Pode-se alcançar maior padronização ao se utilizar os métodos automáticos de delineamento e caracterização de bacias hidrográficas, como o CRWR-PrePro, diminuindo-se a variabilidade decorrente dos processos manuais, onde a subjetividade por parte do técnico é

constantemente empregada. A utilização da extensão CRWR-PrePro apresenta, em relação ao método manual, a vantagem de incrementar os bancos de dados com informações prontamente disponíveis para utilização nos Sistemas de Informações Geográficas.

5. Referências bibliográficas

BONHAM-CARTER, G. F. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS. Third Edition. Ottawa: Pergamon. 1997.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. (Soil and Resources Survey, nº 12) Oxford: Clarendon Press. 1986.

GOLDENFUM, J. A. Pequenas Bacias Hidrológicas: Conceitos Básicos in: Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Org.: Paiva, J. B. D. e Paiva E. M. C. D. Porto Alegre: ABRH, 2001. Cap 1.

GOUVÊA, J., VALLADARES, V., OSHIRO, O., MANGABEIRA, J. Comparação dos modelos digitais de elevação gerados com dados SRTM e cartas IBGE na escala 1:250.000 na região da bacia do Camanducaia no Estado de São Paulo. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2191-2193.

LEÃO, R. A. O., TEIXEIRA, A. S., ANDRADE, E. M., OLIVEIRA, F. Delimitação e caracterização automática de uma micro-bacia hidrográfica da Fazenda Experimental Vale do Curu. Pentecoste-CE1. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 35, n.1, p. 26-35, Jan.-Jun. 2004.

LIMA, J. M. de. Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG). 1987. 86 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

LUDWIG, B., DAROUSSIN, J., KING, D., SOUCHERE, V. (1996) Using GIS to predict concentrated flow erosion in cultivated catchments. Proceedings of the HydroGIS 96: Applications of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management held in Vienna, Austria, in April 1996, no. 235.

MENDES, C. A. B., CIRILO, J. A. Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. cap. 2. p. 57-111.

MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., LADSON, A. R. (1991) Digital terrain modeling: a review of hydrological geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes, 5, p. 3-30.

NÓBREGA, R., SANTOS, C., CINTRA, J. Comparação quantitativa e qualitativa entre o Modelo Digital gerado pelo SRTM e por aerofotogrametria. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 4437-4444.

OLIVERA, F. Exercise 3: Delineating the watersheds and stream network of the Guadalupe Basin. CE394-K3 GIS in Water Resources class at the University of Texas. Fall 1998 <http://www.ce.utexas.edu/prof/olivera/prepro/ExerciseDelineate/delinex.htm>. disponível em 03/02/2003

OLIVERA, F. Extracting Hydrologic Information from Spatial Data for HMS Modeling. Journal of Hydrologic Engineering, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, v. 6, n. 6, p. 524-530. 2001.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em bacias Urbanas e Rurais. RBRH, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 5-23, Jan.-Mar. 2005.

TARBOTON, D. G., BRAS, R. L., RODRIGUEZ-ITURBE, I. (1991) On the extraction of channel networks from digital elevation data. Hydrological Processes, 5, p. 81-100.

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, p. 335-48.

VALERIANO, M. M.; GARCIA, G. J. The estimate of topographical variables for soil erosion modelling through geoprocessing. International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, 33. Amsterdam, 2000. International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing. Amsterdam: ISPRS, 2000, v.33, part B, p.678-685.

VILLELA, S. M., MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.