

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAMANGUAPE - PB: EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE

**Jussara SEVERO DA SILVA 01(1);Eugênio PACHELI FERNANDES LEITE 02 (2);
Giselda MARIA DA SILVA 03(3)**

(1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Av. 1º de Maio, 720, Jaguaribe
58015-430 - Joao Pessoa, PB - Brasil, e-mail: jussarasevero@yahoo.com.br

(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB, Av. 1º de Maio, 720, Jaguaribe
58015-430 - Joao Pessoa, PB - Brasil, e-mail: eupaf@ifpb.edu.br

(3) EMEF Pascoal Massílio, Rua Doutor Gilvan Muribeca, s/n, Imaculada,
58309-410 - Bayeux, PB - Brasil, e-mail: giseldamaria@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho tem como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, no Estado da Paraíba, região Nordeste do Brasil. Utilizando os dados SRTM, obtidos na EMBRAPA e o GRASS - Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos, que é um SIG livre e de código aberto na extração de atributos hidrológicos a partir de MDE - modelo digital de elevação. As fases foram desenvolvidas utilizando os módulos correspondentes, já existentes no SIG GRASS, tais como: importação dos dados obtidos na EMBRAPA (*r.in.gdal*), junção das articulações (*r.mapcalc*), importação e conversão dos dados vetoriais (*v.to.rast*), delimitação do retângulo da área de trabalho (*g.region*), criação da máscara no SIG GRASS (*r.mask*), construção do modelo digital de elevação 90 m (*v.surf.rst*), refinamento do MDE 90 m para MDE 30 m (*r.resamp.interp*), visualização tridimensional (NVIZ) e geração de produtos referente à Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, usando o módulo *r.watershed*. Por conseguinte, os resultados alcançados indicam a capacidade de aplicação e utilização de dados SRTM e de programa Open Source, como neste caso, o SIG GRASS.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, hidrologia, software livre, geoprocessamento, modelo digital de elevação.

1 INTRODUÇÃO

No Geoprocessamento, uma fonte de dados oriunda do Sensoriamento Remoto são as imagens obtidas por diversos sensores, as quais são utilizadas para análise e interpretação da superfície terrestre. E, um exemplo de dados espaciais, são os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

O programa *open source* SIG GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) dispõe de módulos que possibilitam a realização de análise da superfície terrestre à modelagem hidrológica.

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou a utilização de dados SRTM, obtidos na EMBRAPA, com processamento no SIG GRASS, visando à extração de atributos hidrológicos na Bacia do Rio Mamanguape.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Modelos Digitais de Elevação no estudo de bacias hidrográficas

Define-se como bacia hidrográfica, uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída - exutório.

A bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor, assim designado por ser a linha de separação que divide as precipitações que caem em bacias vizinhas e que encaminha o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial. O divisor une os pontos de máxima cota entre as bacias, o que não impede que no interior de uma bacia existam picos isolados com cota superior a qualquer ponto do divisor (PAIVA *et al.*, 2003; TUCCI, 2002).

E o Geoprocessamento possibilita reunir diversas áreas, tais como a Hidrologia e os Recursos Hídricos, com áreas modernas como o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informação Geográfica. E entre tantos produtos resultantes destas junções, pode-se mencionar o MDE - Modelo Digital de Elevação, o qual é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre (FELGUEIRAS, 1999; ROCHA, 2000).

2.2 Dados da Missão SRTM obtidos na EMBRAPA

Para a execução dos mosaicos estaduais disponibilizados no projeto Brasil em Relevo (MIRANDA, 2005) foram realizados procedimentos metodológicos com a utilização de ferramentas de geoprocessamento e de tecnologia da informação, dentre os quais o refinamento do modelo digital de elevação do SRTM.

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foi lançada a bordo do ônibus espacial *Space Shuttle Endeavour* em fevereiro de 2000 e teve como principal objetivo a obtenção de dados topográficos da Terra.

E a equipe técnica da EMBRAPA fez um refinamento do modelo digital de elevação SRTM para 3 segundos de arco (aproximadamente 90 metros de resolução espacial).

2.3 Extração de atributos topográficos em bacias hidrográficas a partir de MDE

Jenson e Domingue (1988) relatam a metodologia para a extração de estrutura topográfica, delineamento de bacias e indicação de caminhos do fluxo a partir de DEM. Assim, a rede de drenagem é definida a partir da simulação do caminho preferencial de escoamento superficial da água sobre o MDE, ou seja, o método padrão D8 (determinístico de oito células vizinhas). A Figura 1 (de *a* a *c*) apresentam as oito possíveis direções de escoamento, para cada uma das células do MDE.

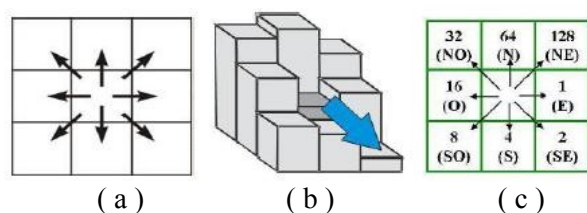


Figura 1 - As oito possíveis direções de escoamento, para cada uma das células do MDE (Chaves, 2002).

Cada *pixel* drena para um dos seus 8 vizinhos (Figura 1a), e pode-se observar que o escoamento de um *pixel* segue para o seu vizinho com maior declividade (Figura 1b). Ao final, tem-se um arquivo *raster* onde cada *pixel* recebe um código que indica a direção de escoamento (Figura 1c). Com os dados oriundos do MDE e a utilização do padrão D8, obtém-se a direção do escoamento superficial da água, ou seja, a obtenção do plano de direção do fluxo (CHAVES, 2002).

O método D8 considera apenas uma das oito direções possíveis de escoamento para cada uma das células do MDE - norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste. Cada opção está associada a uma codificação numérica específica em um novo arquivo *raster* digital de mesma resolução espacial.

2.4 Software Livre

Software Livre (Free Software) é o *software* disponível com a permissão para qualquer um usá-lo, copiá-lo e distribuí-lo, seja na sua forma original ou com modificações, seja gratuitamente ou com custo. É importante não confundir *software* livre com *software* grátis porque a liberdade associada ao *software* livre de copiar, modificar e redistribuir independe de gratuidade (HEXSEL, 2002).

Segundo Leite, Silva e Gomes (2007) o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos – GRASS que é um Sistema de Informação Geográfica - SIG com funcionalidades *raster*, topologia vetorial, processamento de imagens, visualização 3D e produção gráfica. O SIG GRASS é um *software* livre com licença GNU/GPL.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho, a extração dos atributos hidrológicos, ou seja, os produtos resultantes para a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, seguiu a metodologia apresentada por Jenson e Domingue (1988), onde a rede de drenagem é definida a partir da simulação do caminho preferencial de escoamento superficial da água sobre o MDE - o método padrão D8.

3.1 Dados Geográficos SRTM - EMBRAPA

Para obtenção dos resultados foram utilizados os dados do radar interferométrico de abertura sintética – InSAR, oriundos da Missão SRTM, disponível no site da EMBRAPA, no Projeto Brasil em Relevo.

3.2 Retângulo Envolvente

Este estudo compreende uma Bacia Hidrográfica localizada no Nordeste do Brasil - a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, a qual está situada na porção nordeste do Estado da Paraíba; cujo retângulo envolvente compreende a área de estudo está apresentado na Figura 2.

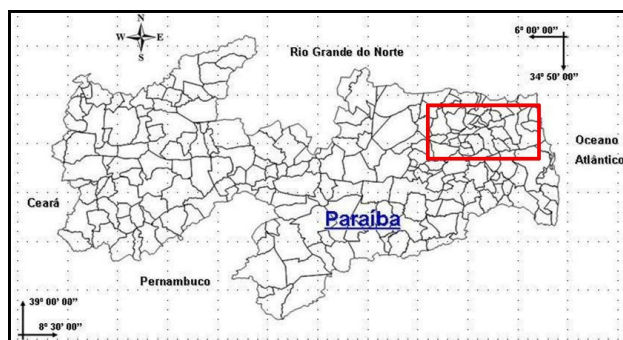


Figura 2 - Identificação da área de estudo no estado da Paraíba.

3.3 Programa Computacional

Foi utilizado o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos – GRASS, que é um SIG livre, de código fonte aberto com licença GNU/GPL. A partir da obtenção dos dados da EMBRAPA e com a exportação para o SIG GRASS foram obtidos os resultados inerentes às etapas para análise da Bacia Hidrográfica, utilizando o módulo *r.watershed*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Importação dos dados da EMBRAPA para o SIG GRASS

Foi utilizado o módulo *r.in.gdal* para importação de cada uma das quatro articulações: SB-24-Z-B; SB-24-Z-D; SB-25-Y-A; e, SB-25-Y-C (*download* do SRTM Paraíba oriundo da EMBRAPA); onde está inserida a área de estudo como dado de entrada (*input*) e utilizou-se o mesmo nome do arquivo para o dado de saída (*output*).

4.2 Junção das articulações no SIG GRASS

Após a importação de cada arquivo correspondente à articulação da área de estudo, foi feita a junção dos dados com o módulo *r.mapcalc*. A Figura 3 mostra a junção dos dados SRTM da EMBRAPA, com aspectos geomorfológicos da região, na qual está inserida a área de estudo.



Figura 3 - Junção dos MDE EMBRAPA-SRTM.

4.3 Construção do MDE 90 m e refinamento para MDE 30 m

Para obtenção do MDE 90 m, foi usado o algoritmo *Spline* com Tensão Regularizada (MITASOVA, H.; MITAS, 1993), implementado no módulo *v.surf.rst* do SIG GRASS. E, para o alcance de melhores resultados, o MDE 90 m obtido inicialmente, foi submetido a um processo de refinamento de 90 m para 30 m de resolução espacial, com a utilização do Interpolador Bicúbico existente no módulo *r.resamp.interp*. O MDE 30 m de resolução espacial é apresentado na Figura 4.

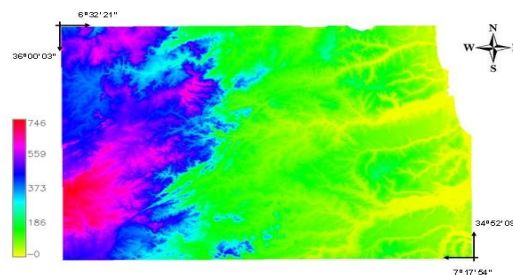


Figura 4 - Modelo Digital de Elevação na resolução espacial de 30 m.

Os maiores e menores valores de altitudes observados no MDE 30 m, foram respectivamente, 746 m e -0,080 m.

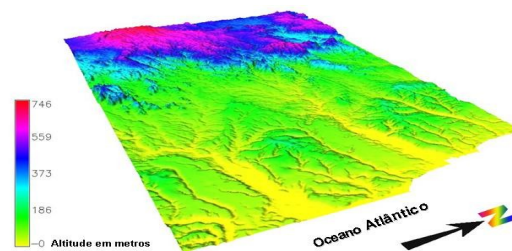


Figura 5 - Visualização tridimensional do retângulo envolvente da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.

Na visualização tridimensional (Figura 5) da área de estudo é permitido aos usuários observar a superfície desta área em um espaço 3D. Também é possível observar as linhas de cumeadas e as conformações dessas direções, que materializam a rede de drenagem e os vales existentes entre as elevações.

4.4 Análise da Bacia Hidrográfica

O SIG GRASS, com o módulo *r.watershed* desenvolvido por Ehlschlaeger (1991), permite que sejam obtidas variáveis para análise da Bacia Hidrográfica. Assim, apenas com o MDE 30 m, como dado de entrada (*input*) neste módulo foram gerados diversos resultados como arquivos de saída (*output*).

Todavia, aqui serão apresentados, apenas, os seguintes resultados: Fatores do solo para USLE associados com a declividade (*length.slope*); Sentido do escoamento para USLE (*slope.steeptness*); Bacias (*basin*) e Fluxo de Escoamento (*stream*). Entre parênteses está a terminologia utilizada no SIG GRASS para cada resultado obtido.

a) Fatores do solo para USLE associados com a declividade (*length.slope*)

Os dados apresentados neste Mapa são referentes à declividade associado a fatores relacionados ao solo, presente na USLE (*Universal Soil Loss Equation*), que é a equação universal da perda de solo, dada por:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde, cada item é a seguir explicitado: **A** (perda de solo calculada por unidade de área); **R** (fator que representa o poder de erosão da chuva e do escoamento); **K** (fator de erodibilidade do solo); **L** (fator de comprimento da rampa); **S** (fator de declividade da rampa); **C** (fator de cobertura, uso e manejo); **P** (fator da prática de conservação do solo).

A precipitação ao atingir uma superfície irá se comportar em função da sua altitude, declividade e orientação da vertente da mesma. E o escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações. A Figura 6 apresenta os resultados dos fatores L e S, associados à declividade existente na área de estudo.

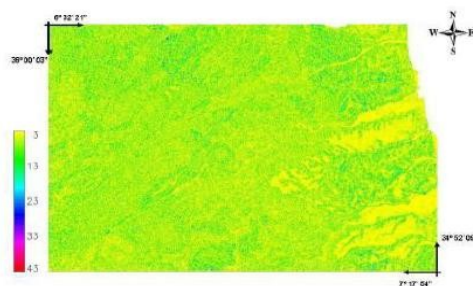


Figura 6 - Mapa de fatores do solo para USLE associados à declividade - valores declividade e comprimento do declive (LS), multiplicados por 100.

Os resultados obtidos estão relacionados aos fatores L e S associados à declividade da região, os quais são fatores da USLE. Uma vez que o fator LS é um número pequeno (geralmente inferior a um), o mapa de saída GRASS é do tipo DCELL (célula do tipo *float*), por isso cada valor apresentado é resultante da multiplicação do valor obtido por 100 (WELTZ M. A. *et al*, 1987).

Situados na parte Leste da bacia estão os menores valores, tendo sido encontrado valores no intervalo de 3 a 13. E na parte Oeste da bacia, estão os maiores valores, sendo encontrado o valor máximo de 43 para a região. Este resultado refere-se à mudança de elevação existente entre as células do MDE ao longo da direção do fluxo e o comprimento percorrido pelo mesmo.

b) Sentido do escoamento para USLE (*slope.steeptness*)

Nos estudos de bacias hidrográficas o comportamento do relevo é muito importante, visto que as precipitações que entram na bacia também contribuem para o transporte dos sedimentos e o sentido do escoamento. A Figura 7 apresenta o mapa de comprimento dos declives.

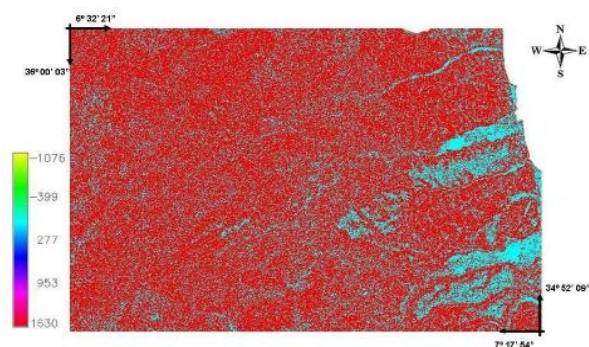


Figura 7 - Mapa de comprimento dos declives (*slope.steepness*) onde os valores do fator de comprimento de declividade são multiplicados por 100.

O resultado apresentado refere-se ao escoamento, associado ao fator S, o qual representa a declividade das vertentes da área de estudo. Este fator S, de acordo com a equação da USLE, normalmente apresenta valor inferior a um, o programa SIG GRASS, automaticamente multiplica-os por 100.

Valores negativos representam pontos limítrofes da área geográfica de estudo. Assim, há na área de estudo uma predominância do valor 1630. E também foi encontrado valores fora da área de estudo, a partir de -399.

c) Mapa de bacia (*basin*)

O mapa de bacia apresenta que uma única variável é atribuída para cada bacia resultante. O delineamento das bacias ocorre a partir de 3 variáveis: o algoritmo de busca A^t existente no módulo, o método D8 e as áreas de acumulação; e assim, os cumes e limites da bacia hidrográfica de estudo podem ser identificados. A Figura 8 apresenta, delineada na cor branca, a área que contém inteiramente a bacia de estudo, ou seja, a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.



Figura 8 - Mapa de bacias.

Os limites da área que compreende a bacia hidrográfica são definidos topograficamente como os pontos que limitam as vertentes que convergem para uma mesma bacia ou exutório. A delimitação de cada bacia hidrográfica é feita seguindo as linhas das cristas das elevações circundantes da seção do curso d'água em estudo. Cada bacia é assim, sob o ponto de vista topográfico, separada das bacias vizinhas restantes.

d) Mapa do Fluxo de Escoamento (*stream*)

A direção do fluxo é determinada a partir da declividade, isto é, a descida mais íngreme. E o módulo *r.watershed* calcula esta distância a partir do centro das células. Por isso, no delineamento da rede de fluxo as áreas de acumulação foram definidas pelo número mínimo de células contribuintes. E assim a rede de fluxo é extraída a partir do número de células que drenam por cada uma delas.

O resultado obtido está apresentado na Figura 9, onde a cada segmento, o programa atribui uma cor, a qual está relacionada com as bacias resultantes do Mapa de Bacias.

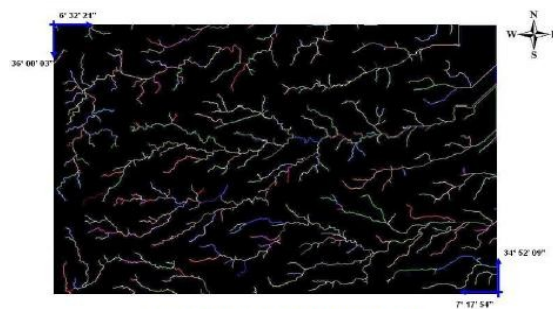


Figura 9 - Mapa do fluxo de escoamento.

Assim, foram identificadas as linhas de drenagem que seguem o padrão de escoamento característico da forma dendrítica, conforme pode ser visualizado na área da bacia com a sua drenagem principal (Figura 10).

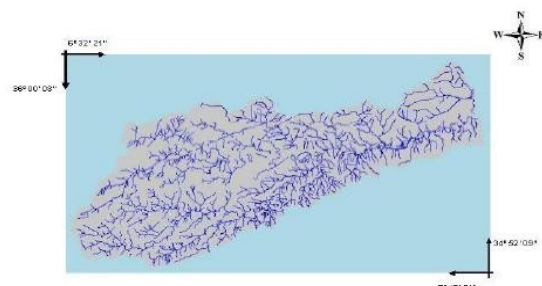


Figura 10 - Área da BH com a drenagem principal.

Por que a forma de uma bacia hidrográfica é também importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, tempo que a água leva dos limites da bacia para chegar à saída da mesma – o exutório.

5 Conclusões

Os dados obtidos através da missão SRTM representam um ganho para a sociedade, tanto do ponto de vista científico como econômico. E o trabalho desenvolvido pela Equipe Técnica da EMBRAPA proporciona aos usuários dados já corrigidos, tratados, organizados e de grande utilidade para aqueles que necessitam de informações do Território Brasileiro.

SIG GRASS é uma opção de *software*, que pela grande quantidade de módulos existentes no programa, atende aos requisitos daqueles que trabalham nesta área. Por ser um *software open source*, não apresenta nenhum custo para sua aquisição, o que representa uma alternativa para os Órgãos Públicos.

O Modelo Digital de Elevação obtido permitiu a caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape. Assim, os resultados alcançados têm como referência o MDE 30 m.

É importante ressaltar que a inclinação do fluxo segue o método D8, que considera apenas uma das oito direções possíveis de escoamento para cada uma das células do MDE – norte, nordeste, leste, sudeste, sul, sudoeste, oeste e noroeste.

Todos os resultados conseguidos com o módulo *r.watershed* permitiram que fosse feita a análise da Bacia Hidrográfica. Dessa forma, os resultados atingidos indicam a sua viabilidade de aplicação.

REFERÊNCIAS

CHAVES, M. A. **Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica**. Viçosa, UFV, 2002. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, 2002. Disponível em: <http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=93>. Acesso em: Mar.2009.

EHLSCHLAEGER, C. **The GRASS/Mathematical: Developing hydrologic models in geographic information systems interfaced with computer algebra systems**. USA:U.S. Army construction engineering research Lab, 1991.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geostatístico por indicação**. São José dos Campos, INPE, 2001. Tese de Doutorado em Computação Aplicada, 1999. Disponível em: <<http://mtc-m05.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/2001/08.03.12.35/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: Mai.2009. INPE-8180-TDI/760.

GRASS. **Site oficial do projeto GRASS - Geographic Resource and Analysis Support System**. Disponível em: <<http://grass.itc.it>>. Acesso em: Dez. 2006.

HEXSEL, Roberto A. **Propostas de Ações de Governo para Incentivar o Uso de Software Livre**. Relatório Técnico do Departamento de Informática da UFPR, 004/2002. Disponível em: <http://www.inf.ufpr.br/info/techrep/RT_DINF004_2002.pdf>. Acesso em: Mai.2007.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Volume 54, N° 11, November 1988, p. 1593 -1600. Disponível em: <<http://edna.usgs.gov/Edna/pubs/extractingtopographicstructure1.pdf>>. Acesso em: Jan.2009.

LEITE, Eugênio P. Fernandes; SILVA, Jussara Severo; GOMES, Giseliane da Silva. Obtenção de Modelo Numérico do Terreno de alta resolução utilizando o Interpolador spline com tensão regularizada. **Anais II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, João Pessoa, Brasil, 23-30 novembro 2007, CONNEPI. CD-ROM.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: Jul.2007.

MITASOVA, H.; MITAS, L. **Interpolation by regularized spline with tension: Theory and implementation**. In: **Mathematical Geology**. v25. p. 641–655. 1993. Disponível em: <<http://skagit.meas.ncsu.edu/~helena/gmslab/papers/MG-I-93.pdf>>. Acesso em: Set.2007

MITASOVA, H. *et al.* **Modeling spatially and temporally distributed phenomena: New methods and tools for GRASS GIS**. In: **International Journal of Geographical Information Systems**. 9(4), 433–446. Leicester. UK.1995.

PAIVA, João Batista Dias *et al* (Org). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora:Ed. do autor, 2000.

SILVA, JUSSARA SEVERO. **Extração de atributos hidrológicos de bacias hidrográficas, utilizando software livre**. João Pessoa, IFPB, 2009. Monografia do Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento, 2009.

TUCCI, Carlos E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/ABRH, 2002. 3ª ed.

WELTZ, M. A. *et al.* Revised Universal Soil Loss Equation for Western Rangelands. In: **U.S.A./Mexico Symposium of Strategies for Classification and Management of Native Vegetation for Food Production in Arid Zones** (Tucson, AZ, 12-16 Oct. 1987). Disponível em: <http://grass.itc.it/gdp/html_grass63/r.watershed.html>. Acesso em: Mar.2009.