

## UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE LIVRE NA EXTRAÇÃO DE ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS

JUSSARA SEVERO DA SILVA  
EUGÊNIO PACELLI FERNANDES LEITE  
ARNALDO GOMES GADELHA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB  
Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento, João Pessoa, PB

[jussarasevero@yahoo.com.br](mailto:jussarasevero@yahoo.com.br)

[eupaf@ifpb.edu.br](mailto:eupaf@ifpb.edu.br)

[arnaldogadella@ig.com.br](mailto:arnaldogadella@ig.com.br)

**RESUMO** - A área de estudo deste trabalho foi a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape, a qual está situada na porção nordeste do Estado da Paraíba - Brasil. Foram utilizados os dados da missão SRTM, oriundos da EMBRAPA e o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos - GRASS, o qual é um SIG livre e de código aberto para a extração de atributos topográficos a partir de MDE - modelo digital de elevação. As etapas desenvolvidas foram: 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*. Dessa forma, os resultados obtidos indicam a viabilidade da aplicação e utilização de dados SRTM e de programa Open Source, neste caso o SIG GRASS.

**ABSTRACT** - The present study selected the Mamanguape Watershed, which is located in the northeast site of the Paraíba State - Brazil. We used the SRTM data, derived from EMBRAPA, and the Geographic Resources Analysis Support System - GRASS, which is a free and open source GIS for the extraction of topographic attributes from DEM - digital elevation model. The steps developed were: import of data obtained from EMBRAPA (*r.in.gdal*), joints junction (*r.mapcalc*), import and conversion of the vector data (*v.to.rast*), delimitation of the desktop rectangle (*g.region*), mask creation using GIS GRASS (*r.mask*), construction of the 90 m digital elevation model (*v.surf.rst*), refinement of the 90 m MDE to 30 m MDE (*r.resamp.interp*), three-dimensional visualization (NVIZ) and generation of product relating to the Mamanguape Watershed, using the modulo *r.watershed*. Based on this, the current results indicate the viability on application and use of SRTM data and the Open Source program, in this case the GIS GRASS.

### 1 INTRODUÇÃO

A coleta de informações relacionadas com o espaço geográfico, em uma bacia, a exemplo do mapeamento temático, sempre se constituiu em importante parte das atividades das sociedades organizadas e suas organizações científicas, voltadas, no caso, à gestão dos recursos hídricos. No geoprocessamento, uma fonte de dados da superfície terrestre oriunda do Sensoriamento Remoto são as imagens obtidas por diversos sensores.

As imagens, obtidas a partir dos sensores, são utilizadas para análise e interpretação da superfície terrestre, por permitir observar e descobrir a Terra de uma posição privilegiada, proporcionando uma visão sinótica e multi-temporal do planeta.

Como exemplo de dados espaciais, estão os dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), procedentes de levantamentos realizados pela NASA e outros organismos internacionais, que abrangeram mais de 80% do globo terrestre.

O SIG GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) é um programa *open source*, de código fonte aberto, que dispõe de módulos que possibilitam a realização de análise da superfície terrestre à modelagem hidrológica, apresentando diversos resultados.

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, no estado da Paraíba, como forma de produzir, com o

geoprocessamento, planos de informações a serem utilizados, na realização de estudos ambientais na área.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Bacia Hidrográfica

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 - seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no 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 segue uma linha rígida em torno da bacia, atravessando o curso d'água somente no ponto de saída. Ele 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 (BELTRAME, 1994; PAIVA *et al.*, 2003; TUCCI, 2002).

### 2.2 Modelos Digitais de Elevação no estudo de bacias hidrográficas

O Geoprocessamento possibilita reunir áreas de conhecimento clássicas, tais como a Hidrologia e os Recursos Hídricos com áreas modernas, como a Ciência da Computação, o Sistema de Informação Geográfica e o Sensoriamento Remoto.

E entre tantos produtos resultantes destas junções, pode-se mencionar o MDE - Modelo Digital de Elevação.

Modelo Numérico de Terreno é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre (FELGUEIRAS, 1998 *apud* ROCHA, 2000).

O termo MDE resulta da tradução da expressão na língua inglesa *Digital Elevation Model* (DEM). Neste texto optou-se por utilizar o termo MDE, todavia será mantido o vocábulo utilizado pelos autores dos trabalhos que serviram como referência.

De acordo com Felgueiras (2001), é muito comum, no ambiente de um SIG, a criação de estruturas de representação onde os valores do atributo são obtidos por procedimentos de interpolação a partir do conjunto de amostras. Em geral, a elaboração de modelo digital de elevação é executada pela interpolação espacial em ambientes SIG.

### 2.3 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, a partir do Centro Espacial de Kennedy, EUA. O principal objetivo dessa missão foi obter dados topográficos da Terra.

Esse gigantesco arquivo de base foi recuperado e tratado matematicamente através de modelos que permitem reconstituir o relevo do país, como nas cartas topográficas, só que de forma digital e homogênea.

A equipe técnica da EMBRAPA fez um refinamento do modelo digital de elevação SRTM, este modelo digital de elevação (MDE) do SRTM, com 3 segundos de arco (aproximadamente 90 metros de resolução espacial).

### 2.4 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.

Dessa forma, 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.

O método D8 (determinístico de oito células vizinhas) 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. A Figura 1 (de a a c) apresentam as oito possíveis direções de escoamento, para cada uma das células do MDE.

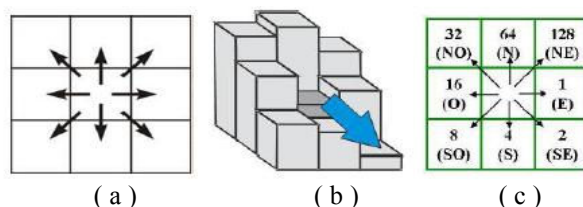


Figura 1 - As oito possíveis direções de escoamento, para cada uma das células do MDE (Chaves, 2002).

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).

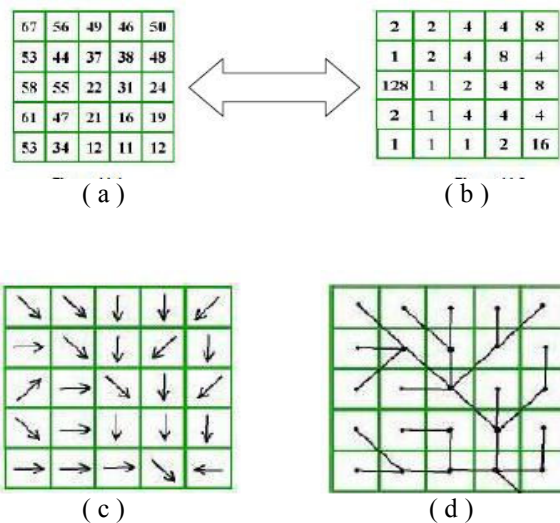


Figura 2 - Processo de extração da drenagem (Chaves, 2002).

Com os dados oriundos do MDE (Figura 2a) e a utilização do padrão D8 (Figura 2b), obtém-se a direção do escoamento superficial da água (Figura 2c), ou seja, a obtenção do plano de direção do fluxo (Figura 2d).

A metodologia para extração de atributos, além do padrão D8, também utiliza o algoritmo de busca *ATsearch* (EHLSCHLAEGER, 1989), conhecido como de “mínimo custo”. Este algoritmo organiza os dados de elevação e avalia a rede hidrológica de forma a procurar a menor trajetória entre um ponto de início e um destino, avaliando a trajetória através das células, segundo a direção do fluxo.

## 2.5 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. Em especial, a possibilidade de modificações implica que o código fonte esteja disponível. 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).

E dentre vários programas open source existentes para Geoprocessamento, sobressai-se o SIG GRASS, prioritariamente utilizado neste trabalho.

De acordo com Leite, Silva e Gomes (2007) o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos - GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) 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, ou seja, o método padrão D8.

### 3.1 Dados Geográficos SRTM EMBRAPA

Neste trabalho foram utilizados os dados do radar interferométrico de abertura sintética – InSAR, oriundos da Missão SRTM, disponível no site da EMBRAPA, projeto Brasil em Relevo, na seção Monitoramento por Satélite. A Figura 3 apresenta a articulação para o Estado da Paraíba.

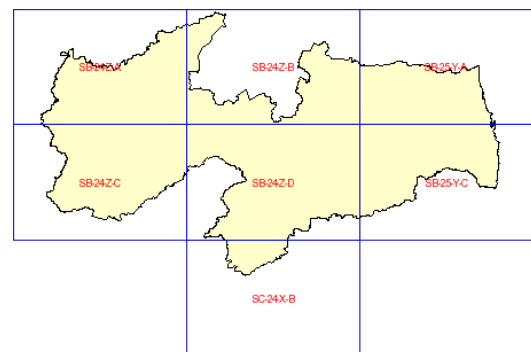


Figura 3 - Articulação para o download do SRTM do Estado da Paraíba (EMBRAPA, 2007).

### 3.2 Retângulo Envolvente

O retângulo envolvente, ou seja, a área de estudo (Figura 4b) 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.



Figura 4a - Identificação da Paraíba na região Nordeste do Brasil.



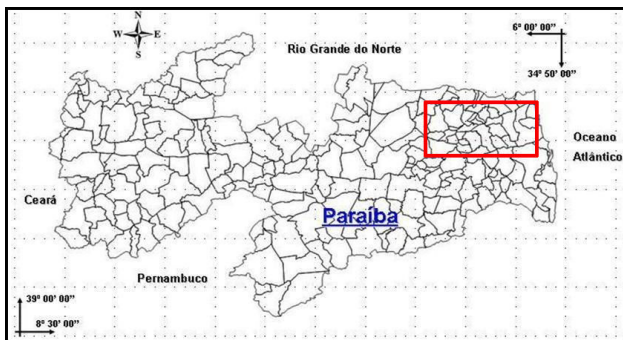


Figura 4b - Identificação da área de estudo no estado da Paraíba.

### 3.3 Programa Computacional

Foi utilizado o Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos - GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) o qual é um SIG livre e de código aberto.

A partir da obtenção dos dados da EMBRAPA e 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

A área de estudo está inserida nas 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), os quais originalmente, estão no formato “.HGT”.

Foi utilizado o módulo *r.in.gdal* para importação de cada uma das quatro articulações, 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 5 mostra a junção dos MDE\_EMBRAPA, cuja origem são os dados SRTM, com aspectos geomorfológicos da região, na qual está inserida a área de estudo.

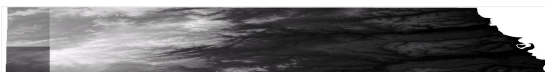


Figura 5 - Junção dos MDE EMBRAPA-SRTM.

### 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, 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 6.

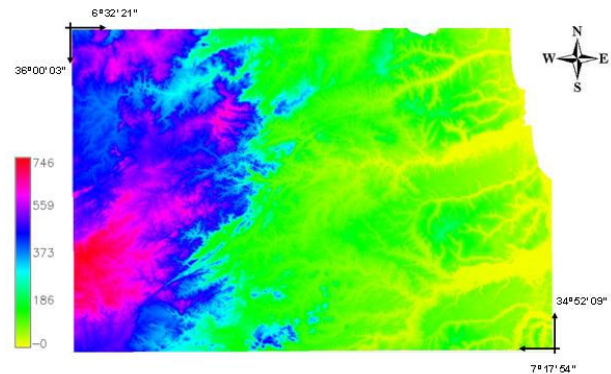


Figura 6 - Modelo Digital de Elevação na resolução espacial de 30 m.

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

Como exemplo, a visualização tridimensional do retângulo envolvente da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape (Figura 7), obtida no NVIZ, que também é um módulo do SIG GRASS e onde é permitido aos usuários observar a superfície da área de estudo em um espaço 3D.

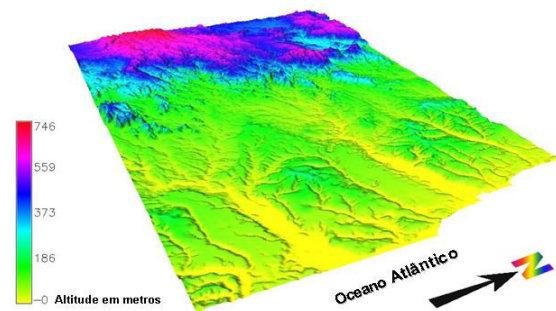


Figura 7 - Visualização tridimensional do retângulo envolvente da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.

Na visualização tridimensional compreendida pelo retângulo envolvente da área de estudo, é possível observar as linhas de cumeadas e as conformações dessas direções, que materializam os vales existentes entre as elevações ou a rede de drenagem.

### 4.4 Análise da Bacia Hidrográfica

No SIG GRASS, o módulo *r.watershed* permite que sejam obtidas outras variáveis para análise da Bacia Hidrográfica objeto do estudo. Com este módulo, desenvolvido por Ehlschlaeger (1991), é possível uma

segmentação detalhada da qual são extraídos parâmetros e índices hidrológicos a partir de um MDE.

Mesmo apresentando diversos resultados, este módulo pode ser acessado diretamente do terminal, digitando o comando *r.watershed* ou a partir da barra de ferramentas: *raster > hydrologic modeling > watershed analysis*.

Assim, apenas com o MDE 30 m, como dado de entrada (*input*) e o auxílio do módulo *r.watershed*, o qual permite que seja feita a análise da Bacia Hidrográfica; foram gerados como arquivos de saída (*output*) os mapas de Capacidade de Escoamento (*drain*); Fatores do solo para USLE associados com a declividade (*length.slope*); Sentido do escoamento para USLE (*slope.steeptness*); Acumulação (*accum*); Visual (*Visual*); Bacias (*basin*) e Fluxo de Escoamento (*stream*). Entre parênteses está a terminologia utilizada no SIG GRASS, para cada resultado obtido.

#### a) Mapa da capacidade de escoamento (*drain*)

O produto de Informação aqui gerado corresponde ao “aspecto” do fluxo para cada célula. O valor 0 (zero) indica que a célula é uma área de depressão (oriundo do dado de entrada). Outros valores negativos indicam que o escoamento na superfície sai dos limites da atual região geográfica. O valor absoluto negativo destas células indica a direção do fluxo.

A escolha do único caminho possível de deslocamento da água em cada uma das células do MDE é dada pela direção do maior declive

A Figura 8 apresenta o mapa de drenagem, ou seja, a capacidade de escoamento da drenagem e onde também estão realçadas as feições topográficas da área de estudo.

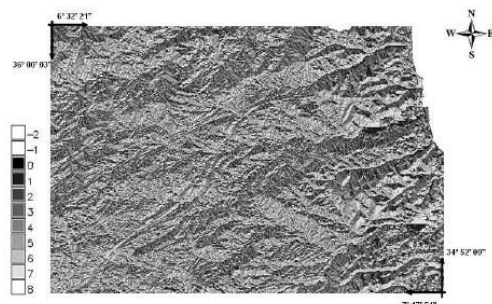


Figura 8 - Mapa da capacidade de escoamento em que valor 0 = área de depressão; valor negativo está fora dos limites região geográfica corrente e valor positivo indica a direção do fluxo, seguindo o padrão D8.

#### b) 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, que é a equação universal da perda de solo.

A USLE (*Universal Soil Loss Equation*) é dada por:  $A = R K L S C P$

Onde:

A: é a perda de solo calculada por unidade de área;

R: é um fator que representa o poder de erosão da chuva e do escoamento;

K: é um fator de erodibilidade do solo;

L: é um fator de comprimento da rampa;

S: é um fator de declividade da rampa;

C: é um fator de cobertura, uso e manejo;

P: é um 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. Se uma vertente tiver pouca declividade, a infiltração é favorecida, enquanto que, se a superfície possuir maior declividade ocorre um aumento no escoamento superficial. Assim, o escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações.

A Figura 9 apresenta os resultados dos fatores L e S, associados à declividade existente na área de estudo.

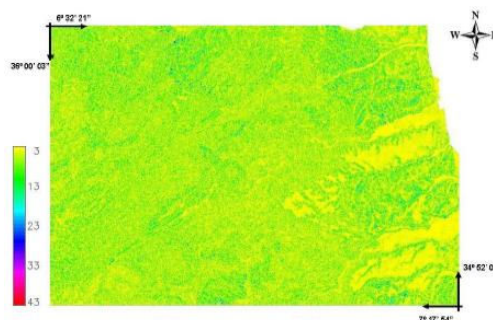


Figura 9 - Mapa de fatores do solo para USLE associados à declividade - valores declividade e comprimento do declive (LS), multiplicados por 100.

Os resultados obtidos estão relacionados aos fatores L (comprimento do declive) e S (declividade) 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 resultado da multiplicação do valor obtido por 100 (WELTZ M. A. *et al*, 1987).

Os menores valores estão situados na parte Leste da bacia, tendo sido encontrado valores no intervalo de 3 a 13.

E na parte Oeste da bacia, onde se encontram as maiores declividades também está 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.

#### c) 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, como também aquele resultante da ação humana que tem aterrado o solo, seja com entulho, resíduos sólidos ou até com o próprio solo. A Figura 10 apresenta o mapa de comprimento dos declives.

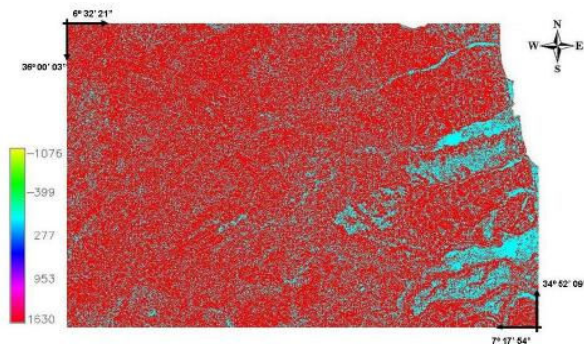


Figura 10 - Mapa de comprimento dos declives (*slope.steeptness*) onde os valores do fator de comprimento de declividade são multiplicados por 100.

O resultado apresentado refere-se ao escoamento, associado ao fator S, o qual representa a declividade das vertentes da área de estudo. Uma vez que o fator S, fator de declividade da rampa, de acordo com a equação da USLE, normalmente apresenta valor inferior a um, o programa SIG GRASS, automaticamente multiplica-os por 100. Os valores negativos representam que são pontos limítrofes da área geográfica de estudo.

Assim, há na área de estudo uma predominância do valor 1630. E também foi constatado valores fora da área de estudo, a partir de -399.

É importante notar que esta aproximação considera as oito direções possíveis para o declive (padrão D8) ao longo do MDE 30 m.

#### d) Mapa de acumulação (*accum*)

O aspecto e a declividade contribuem para a direção do fluxo de uma região e consequentemente a rede de drenagem da Bacia Hidrográfica em estudo. O mapa de acumulação permite identificar as áreas com os maiores fluxo de recebimento.

As áreas de acumulação representam a contribuição de fluxo recebida de outras células da área de estudo. Foi definido que uma área de fluxo acumulado é resultante da contribuição de fluxo, de no mínimo 500 células, ou seja, 4,5 hectares.

A visão geral do Mapa de Acumulação na área de estudo está apresentada na Figura 11.

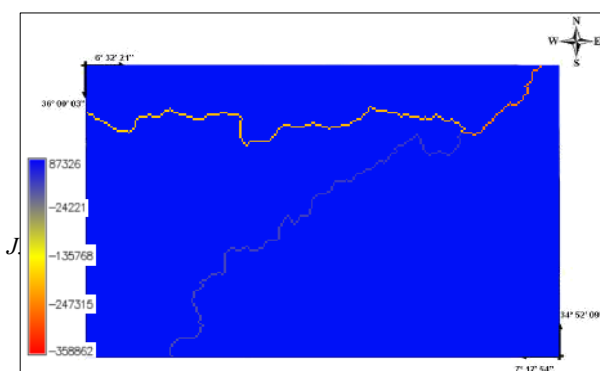


Figura 11 - Recorte do mapa de acumulação, elaborado a partir do número de células de contribuição para canais da rede de drenagem.

É onde se podem observar os locais que, visivelmente, há as maiores concentração de fluxo na região de estudo.

Estas áreas de acumulação de fluxo ocorrem prioritariamente à jusante, mas também identificam os pontos de saída, por que o Mapa de Acumulação tem como fundamento o algoritmo de busca *ATsearch* que procura o menor caminho entre as células.

As células com alta acumulação de fluxo identificam as áreas dos canais de fluxo. As células com acumulação zero de fluxo são os locais com as maiores altitudes e identificam os cumes e os valores negativos indicam que as células recebem fluxo de fora da atual região geográfica.

#### e) Mapa de Visual (*visual*)

O mapa visual é útil para a visualização dos resultados. Ele apresenta a acumulação na superfície da área de estudo para possibilitar uma melhor exibição. A Figura 12 apresenta o mapa visual onde a gradação de cores é em função da acumulação de fluxo.

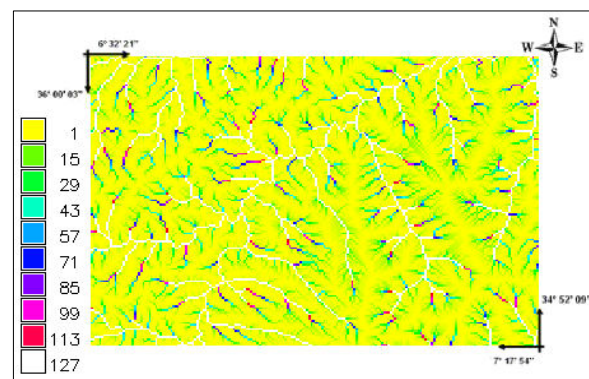


Figura 12 - Recorte do mapa visual, onde a gradação de cores é em função da acumulação de fluxo.

Em função da acumulação de fluxo na rede de drenagem, pode ser observada a hierarquia dos tributários e os segmentos do fluxo. Dessa forma, a bacia será delimitada a partir das junções de fluxo existente.

#### f) Mapa de bacia (*basin*)

A bacia de drenagem ou bacia hidrográfica exerce a função de um coletor natural das águas pluviais precipitada em sua área de ação, recolhendo-as e conduzindo-as como escoamento, ao exutório da bacia ou da seção considerada através da rede existente a partir do relevo.

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 At 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 13 apresenta, delineada na cor branca, a área que contém inteiramente a bacia de estudo, ou seja, a Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape.



Figura 13 - 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 no MDE 30 m, 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.

Dessa forma, uma sub-bacia é simplesmente parte de uma hierarquia, significando que a mesma faz parte de uma bacia maior, onde são observadas a direção do fluxo e a contribuição das células para determinada área. E estas sub-bacias são delineadas a partir das junções existentes na rede de fluxo.

#### g) Mapa do Fluxo de Escoamento (*stream*)

Em uma bacia hidrográfica, o sistema de drenagem é formado pelo rio principal e seus tributários. Para o método D8, a partir de um determinado ponto na área da bacia hidrográfica existem oito direções de escoamento, relativo às oito células adjacentes, na qual o fluxo pode escoar.

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 14, onde a cada segmento, o programa atribui uma cor, a qual está relacionada com as bacias resultantes do Mapa de Bacias.

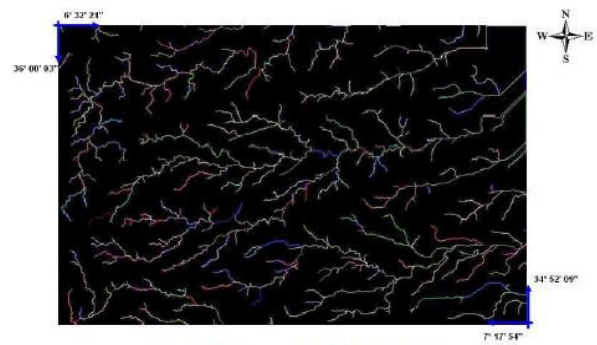


Figura 14 - Mapa do fluxo de escoamento.

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 15). Por que a forma de uma bacia hidrográfica é 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.

Em um evento de chuva, as bacias com formato alongado apresentam fluxos de água que atingem o exutório em diferentes tempos conforme o seu posicionamento na bacia. Assim, os fluxos iniciados nas cabeceiras da bacia percorrem um caminho mais longo, levando assim, um tempo maior do que aqueles das nascentes próximas do exutório.



Figura 15 - Área da BH com a drenagem principal.

Na Figura 16 está representado, o limite final da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape com as sub-bacias sobre o MDE 30 m (MDE de referência).

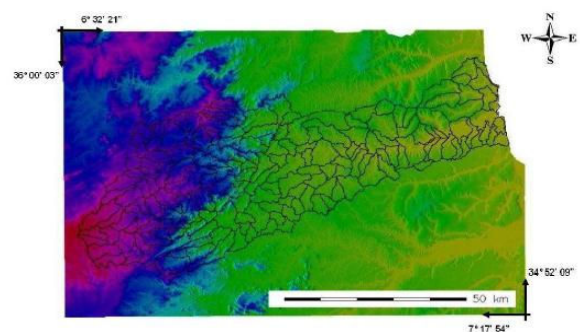


Figura 16 - Limite final da BH Mamanguape com as sub-bacias.

O limite final da bacia obedece a parâmetros topográficos, onde o algoritmo do SIG GRASS traça uma linha pelos pontos mais elevados do terreno, atravessando o curso d'água apenas no ponto de saída - seu exutório.

## 5 CONCLUSÕES

As conclusões a seguir apresentadas abordam os 3 aspectos: Dados SRTM, Programa SIG GRASS e os atributos hidrológicos obtidos com o *software*.

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.

Dessa forma, também se recomenda o uso dos dados SRTM para as áreas onde não existam informações em escala compatível para a análise ambiental e/ou planejamento urbano. Vale ressaltar que os dados SRTM estão disponíveis gratuitamente na WEB.

É trabalhosa e demorada a extração de parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas, quando se faz uso de métodos analógicos ou até computacionais com a interação do usuário.

Atualmente, os recursos disponibilizados pelas Geotecnologias, possibilitam a obtenção de dados sobre os elementos e fenômenos existentes na estrutura das bacias, de forma mais rápida e com precisão.

O 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, todos os resultados obtidos têm como referência o MDE 30 m. Entre os componentes da modelagem hidrológica assistida por SIG citam-se os dados provenientes da análise do terreno e da rede de drenagem.

A utilização do algoritmo de busca *ATsearch* (EHLSCHLAEGGER, 1989), conhecido como de "mínimo custo", organiza os dados de elevação e avalia a rede hidrológica, seguindo a inclinação do fluxo, onde avaliando a trajetória através das células, é procurado o menor caminho entre um ponto de início e um destino.

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 obtidos com o módulo *r.watershed*, tendo como arquivos de saída (*output*) os mapas de Capacidade de Escoamento (*drain*); Fatores do solo para USLE associados com a declividade (*length.slope*); Sentido do escoamento para USLE (*slope.steepestness*); Acumulação (*accum*); Visual (*visual*); Bacias (*basin*) e Fluxo de Escoamento (*stream*), permitiram que fosse feita a análise da Bacia Hidrográfica.

Dessa forma, observa-se que a metodologia desenvolvida com base na utilização de métodos computacionais para o estudo de Bacias Hidrográficas, permite a obtenção de informações de forma mais rápida, eficiente e padronizada. Os resultados obtidos indicam a sua viabilidade de aplicação.

## REFERÊNCIAS

BELTRAME, A. da Veiga. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

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/teedesimplificado/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=93](http://www.tede.ufv.br/teedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=93). Acesso em: Mar.2009.

EHLSCHLAEGGER, 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.

EHLSCHLAEGGER, C. **Using the AT Search Algorithm to Develop Hydrologic Models from Digital Elevation Data**. Proceedings of International Geographic Information Systems (IGIS) Symposium 89, pp. 275-281. Disponível em: <http://faculty.wiu.edu/CR-Ehlschlaeger2/older/IGIS/paper.html>. Acesso em: Mai.2008.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico 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](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, Giselliane 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. 220 p.

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](http://grass.itc.it/gdp/html_grass63/r.watershed.html)>. Acesso em: Mar.2009.