

# MODELAGEM MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO MATEUS BRAÇO NORTE A PARTIR DE DADOS DA SRTM

*Abrahão Alexandre Alden Elesbon<sup>1</sup>; Demetrius David da Silva<sup>2</sup>; Samuel Petraccone Caixeta<sup>3</sup>;  
Wady Lima Castro Júnior<sup>4</sup>, Fabrício Serrão Contin<sup>5</sup> & Felipe de Azevedo Marques<sup>6</sup>*

**RESUMO** – Um modelo digital de elevação (MDE) deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem numérica, garantindo, dessa forma, a sua consistência hidrológica. No trabalho objetivou-se a geração do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do posto fluviométrico São João da Cachoeira Grande (55850000), a partir dos dados remotos da SRTM. A partir do MDEHC gerado para a bacia foram obtidas as características morfométricas: área de drenagem, forma da bacia (kc, kf e perímetro), ordem do sistema de drenagem (metodologia de Strahler), densidade de drenagem, densidade de confluências, declividade média da bacia, altitude média da bacia e declividades do curso d'água principal. As operações espaciais de vizinhança e conectividade implementadas em ambiente matricial mostraram-se eficientes na obtenção das características físicas da bacia, de forma simples e automatizada, podendo ser reproduzidas em outras bacias com maior área de drenagem.

**ABSTRACT** – A Digital Elevation Model (DEM) should represent the relief in a correct way and assure the convergence of the runoff to the drainage line, guaranteeing, in that way, his hydrographic consistence. In this work was generated the Agree DEM for the watershed of the monitoring point São João da Cachoeira Grande (55850000), based on the remote data of SRTM. Starting from the generated Agreed DEM were obtained the physical characteristics: drainage area, watershed shape (kc, kf and perimeter), stream order (Strahler's methodology), drainage density, density of confluence, average slope, average altitude and the main stream slope. The spatial operations of neighborhood and connectivity implemented in raster datasets were shown efficient in the obtaining of the watershed's physical characteristics, in a simple and automated way, which could be reproduced in other watersheds with larger drainage area.

**Palavras-chave:** MDEHC, Rio São Mateus e SRTM.

---

<sup>1</sup> Professor IFES/Colatina, Doutorando (DEA/UFV), Recursos Hídricos e Ambientais. CEP 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [abrahaoeslesbon@hotmail.com](mailto:abrahaoeslesbon@hotmail.com)

<sup>2</sup> Professor adjunto do DEA/UFV, CEP 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [demetrius@funarbe.org.br](mailto:demetrius@funarbe.org.br)

<sup>3</sup> Doutorando (DEA/UFV), Recursos Hídricos e Ambientais. CEP: 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [samuel.caixeta@ufv.br](mailto:samuel.caixeta@ufv.br)

<sup>4</sup> Professor IFMA/Codó, Doutorando (DEA/UFV), Recursos Hídricos e Ambientais. CEP 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [wady.junior@ufv.br](mailto:wady.junior@ufv.br)

<sup>5</sup> Doutorando (DEA/UFV), Recursos Hídricos e Ambientais. CEP: 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [fscontin@yahoo.com.br](mailto:fscontin@yahoo.com.br)

<sup>6</sup> Doutorando (DEA/UFV), Recursos Hídricos e Ambientais. CEP: 36570-000, Viçosa/MG. E-mail: [engmarx-gprh@ufv.br](mailto:engmarx-gprh@ufv.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A exigência de uma visão globalizada das questões ambientais tem contribuído para uma crescente demanda por informações cartográficas, obtidas em ritmo cada vez mais intenso graças ao desenvolvimento de técnicas apoiadas no uso de computadores e às imagens remotas obtidas por satélites espaciais (Marques, 2007).

O desenvolvimento de Modelos Digitais de Elevação e de técnicas mais precisas de extração de drenagem numérica e a delimitação de bacias hidrográficas propiciaram o uso dos sistemas de informações geográficas para obtenção automática das características físicas das bacias de drenagem (Baena, 2002 apud Marques, 2006).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação digital de uma seção da superfície, por meio de uma matriz de células com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor da célula, correspondente à elevação (Luiz et al, 2007).

A caracterização da bacia hidrográfica requer o detalhado levantamento de características geométricas e da rede de drenagem (Goldenfum, 2001).

De acordo com ESRI (1997), modelar digitalmente uma superfície, de modo consistente, significa representar o relevo de forma a reproduzir, com exatidão, o caminho preferencial do escoamento da água superficial observado no mundo real. A utilização de modelos digitais de elevação hidrograficamente condicionados (MDEHC) propicia o uso de sistemas de informações geográficas para obtenção automática das características físicas das bacias de drenagem.

Para Costa et al (2007), a bacia hidrográfica, fisicamente, é uma área cujo perímetro é determinado por divisores de água e no interior da qual se apresenta uma rede de fluxos por onde se verifica a drenagem da água. 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, sedimentos e também da cobertura vegetal.

Na compreensão de Baena et al (2004), a regionalização de vazões tem sido realizada com o objetivo de disponibilizar informações hidrológicas em locais sem dados ou com poucas informações disponíveis. Porém, a determinação das características físicas das bacias de drenagem para cada local de interesse limita consideravelmente a aplicação dos resultados de um estudo convencional de regionalização de vazões. Uma das soluções para esse problema é a automação do processo de delimitação de bacias, utilizando-se de modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado (MDEHC).

O modelo digital de elevação deve representar o relevo de forma fidedigna e assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem numérica, garantindo, dessa forma, a sua consistência hidrológica.

A eficiência da extração das características físicas medidas em termos de precisão e de exatidão está diretamente relacionada com a qualidade do modelo digital de elevação e dos algoritmos utilizados.

Assim, a partir do MDEHC é possível derivar diversas informações sobre a morfologia terrestre. As características hidrológicas da bacia (direção do escoamento, declividade do rio principal, rede de drenagem, comprimentos de rios, áreas acumuladas, etc.) podem ser determinadas usando funções padrões incluídas em muitos softwares de SIG disponíveis comercialmente (Oliveira e Maidment, 1999, apud Buarque, 2008).

A extração destas características a partir do MDEHC tem recebido atenção considerável e é reconhecida como uma alternativa viável aos tratamentos tradicionais e avaliação manual dos mapas topográficos (Colombo et al., 2007). No caso de grandes bacias, o MDEHC pode constituir a única fonte de informações disponível e, portanto, deve ser aproveitado ao máximo. Neste processo, a automação da extração de informações físicas de bacias reduz o tempo necessário para a geração de planos de informações para modelos hidrológicos.

As vantagens da automação são a maior eficiência e confiabilidade dos processos, a reprodutibilidade dos resultados e a possibilidade de armazenamento e compartilhamento dos dados digitais. Neste sentido, a utilização de bases topográficas obtidas por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a necessidade de intervenções manuais na modelagem do relevo e, portanto, a resolução de 90m dos dados da missão de mapeamento topográfico SRTM, dos Estados Unidos, representa um avanço importante em relação às alternativas até então disponíveis (Valeriano, 2004).

No Brasil, a maioria dos estudos hidrológicos segue as informações topográficas existentes nas cartas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Entretanto, por estas terem sido editadas em 1977, não mais representam a paisagem atual. A recente coleta de dados topográficos por técnicas de sensoriamento remoto, como os dados SRTM, tem se mostrado como alternativa de grande interesse para suprir a carência de informações relativas ao relevo (Costa et al., 2007).

A extensão Spatial Analyst do software ArcGIS, com ferramentas incorporadas pelo CRWR, em Austin, além de outras organizações, é bastante adequada à geração de um MDEHC (OLIVEIRA, 1998). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm sido muito utilizados devido à sua flexibilidade e disponibilidade, consistindo de sistemas computadorizados que permitem sobrepor diversas informações espaciais da bacia hidrográfica. A informação é

armazenada digitalmente e apresentada visual ou graficamente, permitindo a comparação e a correlação entre informações. A utilização dos SIG's para o gerenciamento ambiental de bacias hidrográficas envolve muitas outras atividades, além da elaboração e manutenção de um banco de dados geocodificados, de onde são retiradas as diversas informações estatísticas sobre as características da unidade de estudo (PIRES et al., 2002).

Neste trabalho objetivou-se a geração do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do posto fluviométrico São João da Cachoeira Grande (55850000). A partir do MDEHC foram obtidas as seguintes características morfométricas da bacia em estudo: área de drenagem; forma da bacia (Kc, Kf e perímetro); ordem do sistema de drenagem (Strahler); densidade de drenagem; densidade de confluências; declividade média da bacia; altitude média da bacia e declividades do curso d'água principal.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

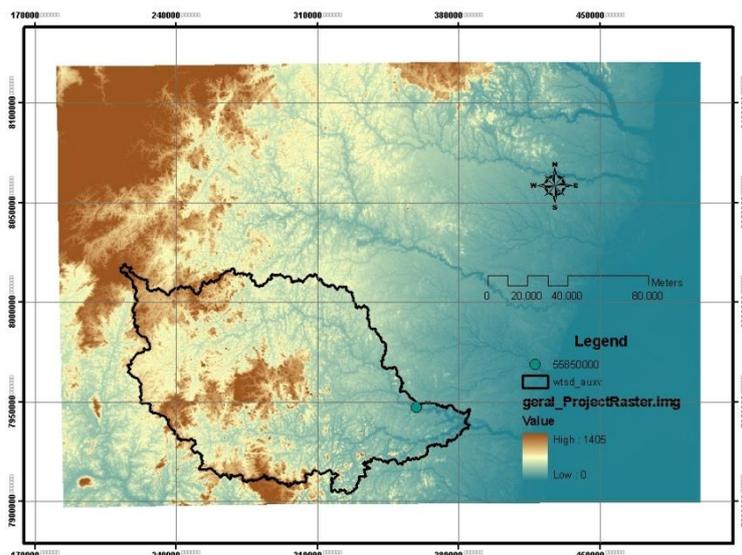
O primeiro procedimento adotado para a realização do presente trabalho foi a escolha de uma estação que tivesse uma série histórica de dados com pelo menos 20 anos de registros. A região em estudo situa-se a montante da estação fluviométrica São João da Cachoeira Grande (código 55850000), de responsabilidade da Agência Nacional de Águas - ANA e operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. A estação está localizada na região hidrográfica do Atlântico trecho Leste, braço norte do rio São Mateus, estado do Espírito Santo, nas coordenadas geográficas 18° 33' 50'' S e 40° 20' 10'' W e altitude 29 m, delimitando uma área de drenagem a montante de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup>.

Os dados da estação fluviométrica foram obtidos do sistema de informações hidrológicas – HIDROWEB, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA.

### ***Obtenção do MDEHC***

O MDE utilizado foi obtido através das imagens da SRTM disponibilizadas no site da EMBRAPA (Mapeamento por Satélite), na resolução de 90 x 90 m, e com extensão espacial semelhante ao sistema de articulação cartográfico utilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (Figura 2). Segundo a EMBRAPA, estas imagens equivalem às cartas do IBGE na escala de 1:250.000. Foram selecionadas previamente as seguintes cartas: SE-24-V-C, SE – 24 – Y – A, SE – 24 – Y –B.

A partir deste momento, foi utilizado o software ArcGIS do ESRI para desenvolvimento do MDEHC. O mosaico das quatro imagens obtidas é apresentado na Figura 01.



**Figura 01** – Localização geográfica da bacia do rio São Mateus e do posto fluviométrico 55850000 a partir do mosaico construído com dados SRTM obtidos da EMBRAPA.

Um problema foi verificado nos arquivos obtidos do site da EMBRAPA, onde se encontram muitas células com valores “no data”. Estas células não possuem nenhuma informação e não são definidas como depressões espúrias (altitudes equivocadas devido ao processo de interpolação). Antes de se iniciar o estudo, foi necessário reinterpoler o grid com o algoritmo focalmean, utilizando-se a calculadora matricial com a expressão: “sem\_nodatas = con (isnull([adicionar o grid projetado]), focalmean([adicionar o grid projetado], rectangle, 4, 4), [adicionar o grid projetado])”.

Após a verificação da não existência de “no datas” na região em estudo, projetou-se toda a base de dados para WGS – 1984 – UTM – Zone – 24S, tomando-se o cuidado de transformar todas as células geradas para o tamanho inteiro de 90 m (aproximadamente 3 arcos segundos). A área de trabalho também foi modificada para que não houvesse problemas na continuidade do trabalho.

A partir de então, utilizou-se o conjunto de ferramentas do ArcGIS, denominada Arc Hydro, utilizada para geração de banco de dados hidrológicos e análises espaciais de gestão de recursos hídricos. No processamento do terreno, a seqüência de comandos utilizados foi: preenchimento das depressões espúrias (terrais processing/ DEM manipulation/ Fill Sinks), criação do grid de direção de escoamento (Terrain Processing/ Flow Direction), criação do grid de fluxo acumulado (Terrain Processing/ Flow Accumulation) e criação da drenagem numérica com acúmulo inicial de 500 células (Terrain Processing/ Stream Definition).

De posse de todos estes grids, foi determinada a posição do posto fluviométrico sobre a drenagem numérica e criado a célula correspondentes à foz. A área de drenagem do posto fluviométrico em estudo foi traçada (função watershed). De posse de todos estes grids,

converteram-se os mesmos para pontos, polígonos e vetores para melhor apresentação dos resultados.

A partir desta primeira delimitação da bacia, configuram-se todas as análises espaciais para esta região, aumentando a agilidade e reduzindo o tempo de processamento do software.

Foi realizada a comparação da hidrografia gerada com acúmulo de 500 e 100 células com a hidrografia padrão do IBGE para a escala utilizada (1:250.000) numa região de cabeceira (local onde pode-se verificar a ramificação da hidrografia).

O próximo passo para a construção do MDEHC foi o afinamento da hidrografia. Este procedimento se deve, principalmente, à suavização da rede de drenagem visando os próximos passos: verificações topológicas e orientação da hidrografia no sentido: nascentes x foz.

A topologia foi realizada a partir da hidrografia afinada e vetorizada. Algumas regras topológicas são adicionadas ao tema para evitar incoerências na hidrografia. As regras selecionadas foram: não deve haver cursos d'água com comprimentos inferiores a três células do *grid* (must not have dangles), o rio não pode intersectar-se (must not self-intersect) e a hidrografia deve apresentar trechos contínuos (must not have pseudo-nodes).

Após a verificação topológica, procedeu-se a verificação do sentido de escoamento, garantindo-se o escoamento no sentido das nascentes para a foz. Este procedimento é bastante interessante, pois detecta, apesar de todo procedimento de tratamento inicial do MDE, escoamentos incoerentes e inconsistentes.

O último procedimento realizado para a construção do MDEHC foi garantir que a hidrografia passasse pela hidrografia afinada, orientada e topologicamente consistida. Para tanto, foi utilizado o comando “DEM Reconditioning”, onde aprofunda-se o grid de elevação da hidrografia numérica, para garantir a continuidade do escoamento até à foz. Cabe ressaltar que este MDEHC é utilizado como base para geração de dados relacionados à hidrografia. Os dados de relevo da bacia foram obtidos através do grid trabalhado anteriormente.

Como último passo, com a hidrografia aprofundada no MDE, refaz-se todo o procedimento de preenchimento de depressões espúrias que por ventura possam ter sido geradas, gera-se uma nova direção de escoamento e um novo fluxo acumulado. Pode-se considerar hidrograficamente condicionado o modelo digital de elevação obtido a partir de então.

### ***Determinação das características físicas da bacia hidrográfica***

Uma vez gerado o MDEHC da área de drenagem em estudo, foi possível obter as características fisiográficas da bacia hidrográfica. Estão descritos abaixo os procedimentos adotados para a obtenção das características físicas de interesse em hidrologia de uma bacia hidrográfica:

### ***Área de drenagem da bacia***

De posse do grid de direção de escoamento, foi traçada a área de drenagem através da função “watershed”.

### ***Perímetro da bacia***

O perímetro da área de drenagem da bacia foi obtido de forma direta no ArcGIS através da ferramenta “*Zonal Geometry as Table*”, disponível na caixa de ferramentas do módulo ArcMap.

### ***Forma da bacia***

#### ***Coefficiente de compacidade (kc)***

É a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia.

Uma vez obtidos a área da bacia e o seu perímetro, foi possível calcular o coeficiente de compacidade através da equação 1.

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Onde:

P é o perímetro da bacia, km;

A é a área da bacia, km<sup>2</sup>.

Quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à 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.

#### ***Fator de forma da bacia (kf)***

É a relação entre a área da bacia e o quadrado de seu comprimento axial. Mede-se o comprimento axial da bacia (L) quando se segue o curso d’água mais longo desde a foz até a cabeceira mais distante.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Onde:

A é a área da bacia, km<sup>2</sup>;

L é o comprimento axial da bacia, km.

Uma bacia com fator de forma baixo é menos sujeita a enchente que outra de mesmo tamanho, porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que em uma bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão.

### ***Hierarquização dos cursos de água (Strahler)***

De acordo com o critério de Strahler, todos os cursos d'água que não possuem afluentes são classificados como sendo de primeira ordem. Os cursos de segunda ordem se originam da confluência de canais de primeira ordem, podendo ter afluentes de primeira ordem. Os de terceira ordem se originam da união de canais de segunda ordem, podendo ter afluentes de segunda e primeira ordem. E assim sucessivamente, até os cursos d'água de ordem u, que se originam da confluência de dois canais de ordem u-1, podendo receber a afluição de cursos de ordens inferiores a u.

### ***Sistemas de drenagem da bacia***

#### ***Densidade de Drenagem (Dd)***

Uma indicação razoável da eficiência de um sistema de drenagem é fornecida pelo índice denominado densidade de drenagem.

A densidade de drenagem foi determinada a partir da relação entre o comprimento total dos cursos de água (efêmeros, intermitentes e perenes) da bacia e a sua área total, conforme a equação 3. Para obtenção do comprimento total dos cursos d'água gerados numericamente pelo acúmulo de 500 células no interior na bacia, a partir da hidrografia afinada, topologicamente consistente e orientada, foi criada uma nova coluna em sua tabela de atributos e calculou-se o comprimento de cada trecho dos cursos d'água da bacia. Pela análise estatística interna do software, foi obtida a soma de todos os comprimentos dos trechos da hidrografia.

$$D_d = \frac{L}{A} \quad (3)$$

Onde:

L é o comprimento total dos cursos d'água, km;

A é a área da bacia, km<sup>2</sup>.

### *Densidade de confluências (Dc)*

A densidade de confluências foi determinada através da relação entre o número de confluências da hidrografia (NC) e a sua área total (A), de acordo com o apresentado na equação 4. O número de confluências foi obtido através do grid contendo o número de segmentos do curso d'água, gerado a partir da rotina desenvolvida por Marques (2007), para a obtenção do comprimento total do curso d'água. Considerando que uma confluência é formada pela junção entre dois seguimentos de rio, atribuiu-se o valor do número de confluências como sendo a metade do número de segmentos.

$$D_c = \frac{NC}{A} \quad (4)$$

Onde:

NC é o número de confluências;

A é a área da bacia, km<sup>2</sup>.

### *Relevo da bacia*

#### *Declividade da bacia*

Para se obter declividade média da bacia, primeiramente foi gerado um mapa de declividade a partir do MDEHC através da ferramenta Slope, disponível na extensão "Spatial Analyst". Uma vez gerado o mapa de declividade, o software automaticamente determina alguns parâmetros relativos ao mesmo, dentre estes, a declividade média da bacia. Tais parâmetros podem ser visualizados acessando-se a aba "Source" no campo "Layer/Properties".

#### *Declividade do Rio Principal*

A declividade S1 ou Srp é definida como a declividade entre a foz e a nascente do curso d'água é obtida pela divisão da diferença total de elevação do leito do rio principal pela extensão horizontal do curso d'água entre a nascente e a estação fluviométrica (equação 5).

$$S_{rp} = \frac{Cota_{nasc} - Cota_{foz}}{L} \quad (5)$$

A declividade S2 é obtida pela equivalência entre áreas, traçando-se no gráfico do perfil longitudinal do rio uma linha de declividade tal que a área compreendida entre ela e o eixo das abscissas seja igual à área entre o perfil longitudinal e o eixo das abscissas.

A declividade S3 é calculada dividindo-se a extensão do rio em diversos trechos retilíneos (equação 6).

$$S_3 = \left( \frac{\sum L_i}{\sum \left( \frac{L_i}{\sqrt{D_i}} \right)} \right)^2 \quad (6)$$

A declividade S4, mais comumente chamada “S<sub>10,85</sub>”, é obtida através da relação cota/comprimento, desconsiderando os segmentos das extremidades do curso d’água, conforme a equação 7.

$$S_{10,85} = \frac{\text{Cota}_{10\%L} - \text{Cota}_{85\%L}}{0,75 L} \quad (7)$$

### ***Comprimento do rio principal e comprimento total dos cursos d’água***

O comprimento do rio principal e o comprimento total dos cursos d’água foram obtidos utilizando-se o grid da drenagem numérica e aplicando-se sobre esta a metodologia para a obtenção das características fisiográficas célula a célula, elaborada por Marques (2007).

### ***Perfil Longitudinal do Rio Principal***

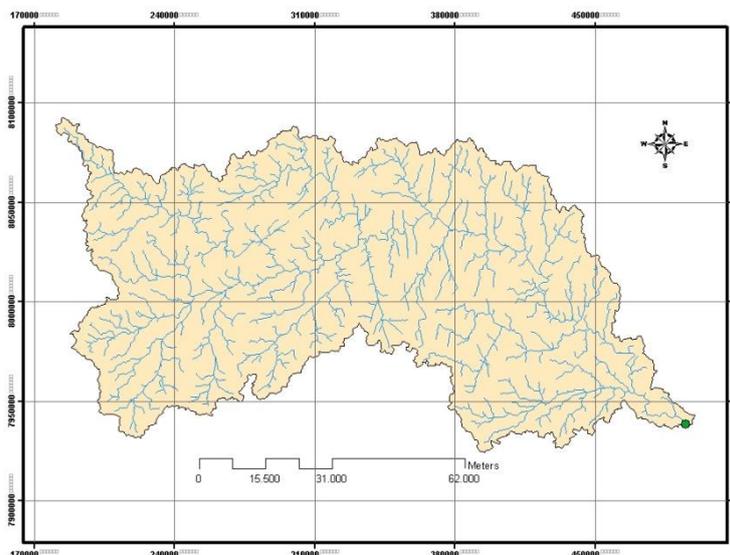
O perfil longitudinal de um rio é obtido através da relação entre o seu comprimento e as cotas do mesmo, sendo necessária a criação dos grids do rio principal contendo tais informações.

Primeiramente, digitalizou-se o rio principal com a geração de um vetor tipo linha, que posteriormente foi convertido para o formato raster (Spatial Analyst/Convert features to Raster). De posse de um grid contendo somente o rio principal, bastou associá-lo, através da ferramenta Raster Calculator, ao MDEHC para se obter os dados relativos às cotas e comprimento de cada célula ao longo do rio. Estes dados foram exportados em forma de tabela, possibilitando assim, a geração de um gráfico representativo do perfil longitudinal do rio principal.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

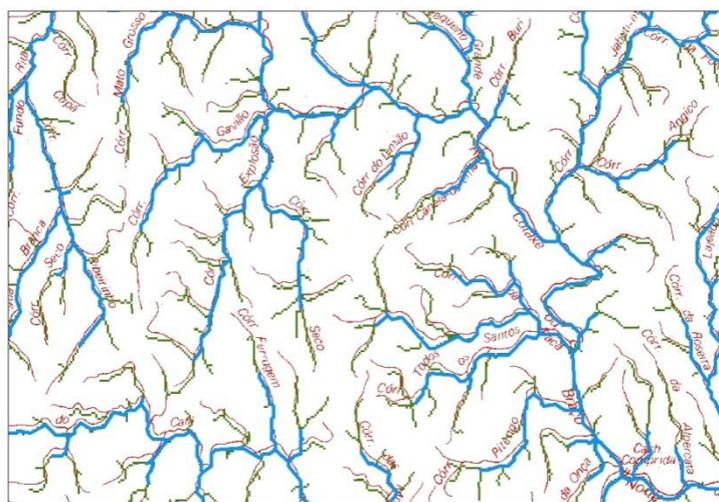
### ***Obtenção do MDEHC***

A delimitação da bacia hidrográfica a montante do posto fluviométrico São João da Cachoeira Grande (55850000), bem como a hidrografia numérica gerada e vetorizada, pode ser verificada na Figura 05.



**Figura 05** – Bacia hidrográfica, drenagem numérica e localização do posto 55850000.

A verificação básica da consistência hidrológica de um modelo digital de elevação se baseia na comparação da hidrografia gerada com a disponibilizada pelo órgão cartográfico nacional (IBGE) e na delimitação precisa da bacia hidrográfica. Analisando a Figura 06, pode-se concluir que o traçado da bacia foi eficiente.



**Figura 06** – Comparação da hidrografia padrão IBGE (vermelha), hidrografia numérica gerada para 500 células acumuladas (azul) e 100 células acumuladas (verde).

Observa-se, pela Figura 06, que a hidrografia numérica gerada é compatível com a rede de drenagem padrão. O nível de ramificação para 500 células é menor e para 100 células é maior que a apresentada pelo IBGE. Optou-se por manter a drenagem numérica gerada para 500 células por diminuir o tempo de processamento e por coincidir com a drenagem padrão.

Na Figura 07 é mostrado o MDEHC obtido numa visão tridimensional, aumentando a escala vertical em 10 vezes o valor original.



**Figura 07** – Visão 3D do MDEHC obtido.

### ***Características Fisiográficas***

O Quadro 01 apresenta o resumo das características fisiográficas obtidas para a região em estudo.

**Quadro 01** – Resumo das características fisiográficas obtidas para a região em estudo.

Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	6928,74
Perímetro (km)	665
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,24
Fator de forma (Kf)	0,259

A área de drenagem obtida foi de 6929 km<sup>2</sup> e o perímetro da bacia foi igual a 665 km. Esta variável física nos fornece, juntamente com a área da bacia, subsídios para avaliarmos o nível de irregularidade que a forma da bacia apresenta.

O coeficiente de compacidade é útil para dar uma idéia sobre a susceptibilidade da bacia à ocorrência de enchentes, sendo que uma bacia será mais susceptível à ocorrência de enchentes quando seu Kc for mais próximo da unidade. O Kc obtido para a bacia foi de 2,24, indicando que a mesma apresenta uma baixa propensão para ocorrência de enchentes.

A bacia apresenta Kf igual 0,259, indicando a baixa propensão da mesma à ocorrência de enchentes, uma vez que, quanto maior o comprimento axial em relação à área, menores são as chances de ocorrência de enchentes numa bacia.

Cabe ressaltar que estes dados são muito influenciados pelo fator escala. Estes índices foram obtidos para uma escala de 1:50.000.

Elesbon (2004) obteve para a estação em análise uma área de drenagem de 7537 km<sup>2</sup>. Cabe ressaltar que em seu estudo foi utilizada a escala ao milionésimo e o traçado da bacia hidrográfica foi semi-automática (delineada pelo usuário a partir de imagens tridimensionais).

### ***Sistema de Drenagem***

O Quadro 02 apresenta um resumo dos resultados obtidos para o sistema de drenagem da bacia hidrográfica do Rio São Mateus Braço Norte à montante da estação fluviométrica de São João da Cachoeira Grande (55850000).

**Quadro 02** – Resumo dos resultados obtidos para o sistema de drenagem da bacia em estudo.

Comprimento do rio principal (km)	251,015
Comprimento total dos cursos d'água (km)	2540,34
Densidade de drenagem (km. km <sup>-2</sup> )	0,367
Número de confluências	474
Densidade de confluências (conf. km <sup>-2</sup> )	0,068
Ordem do curso d'água principal - (Strahler)	5

O comprimento do rio principal e comprimento total dos cursos d'água apresentaram, respectivamente, os valores 251,015 km e 2540,34 km. Essas variáveis são importantes para a determinação do perfil longitudinal do rio e da densidade de drenagem da bacia.

A densidade de drenagem é o índice que indica a eficiência do sistema de drenagem, fornecendo uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. O valor de densidade de drenagem, obtido pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água e a área de drenagem da bacia, foi de 0,367 km km<sup>-2</sup>. Segundo Villela & Mattos (1975), a densidade de drenagem varia de 0,5 km km<sup>-2</sup> (para bacias hidrográficas com mal drenadas) a 3,5 km km<sup>-2</sup> ou mais (para aquelas excepcionalmente bem drenadas).

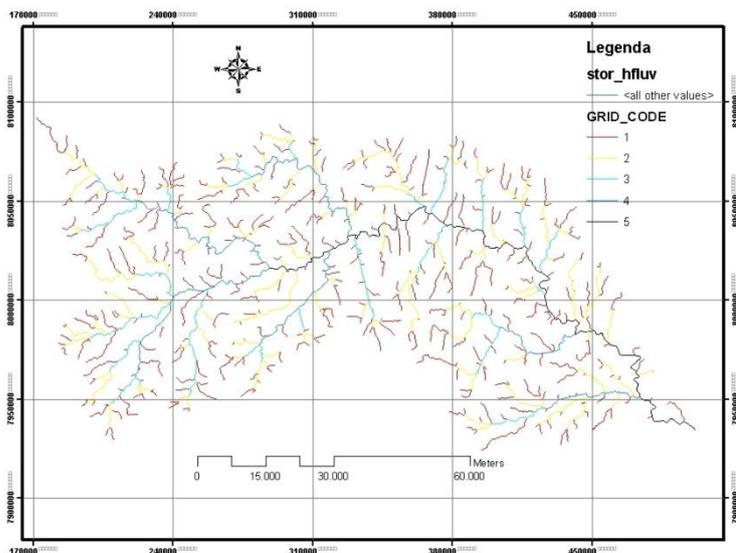
Elesbon (2004) encontrou, para a região em estudo, comprimento do rio principal de 230 km, comprimento total de drenagem de 974 km e densidade de drenagem de 0,13 km km<sup>-2</sup>. Estas divergências também são justificadas pela diferença das escalas utilizadas nos trabalhos.

A densidade de confluências é uma forma simples de representar a densidade de drenagem de uma bacia. A bacia apresenta densidade de confluências igual a 0,068 confluências km<sup>-2</sup>.

A ordem dos cursos d'água é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação da rede de drenagem da bacia. O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, sendo fator indicativo de sua propensão à ocorrência de cheias.

De acordo com os resultados apresentados, constatou-se que a rede de drenagem da bacia ordenada pelo método de Strahler apresentou ordem 5.

O resultado da hierarquização do curso d'água obtido para a bacia em estudo é apresentado na Figura 08.



**Figura 08** – Hierarquização dos cursos d'água para a bacia em estudo.

### **Relevo da Bacia**

Os resultados obtidos para o relevo da bacia em estudo é apresentado no Quadro 03.

**Quadro 03** – Resumo dos resultados obtidos para o relevo da bacia.

<b>Declividade média da bacia (%)</b>	21,24
<b>Elevação média (m)</b>	344,19
	S1 0,0028
	S2 0,0014
<b>Declividade do rio principal (m/m)</b>	S3 0,0011
	S4 0,0020

O conhecimento da topografia do terreno tem grande importância em estudos hidrológicos, pois esta característica, além de influenciar a velocidade de escoamento da água sobre o solo, interfere também na capacidade de armazenamento de água neste, sendo que as áreas mais

declivosas possuem menor capacidade de armazenamento superficial do que as mais planas (PRUSKI, 2004).

Quanto maior a declividade de uma bacia, mais suscetível esta será a ocorrência de enchentes e erosões.

A declividade do rio principal de uma bacia é uma medida representativa de seu relevo e é muito utilizada em diversos estudos hidrológicos. A velocidade de escoamento de um rio depende da declividade dos canais fluviais, sendo que, quanto maior sua declividade, maior será a velocidade de escoamento

O mapa de declividade em porcentagem é apresentado na Figura 09.

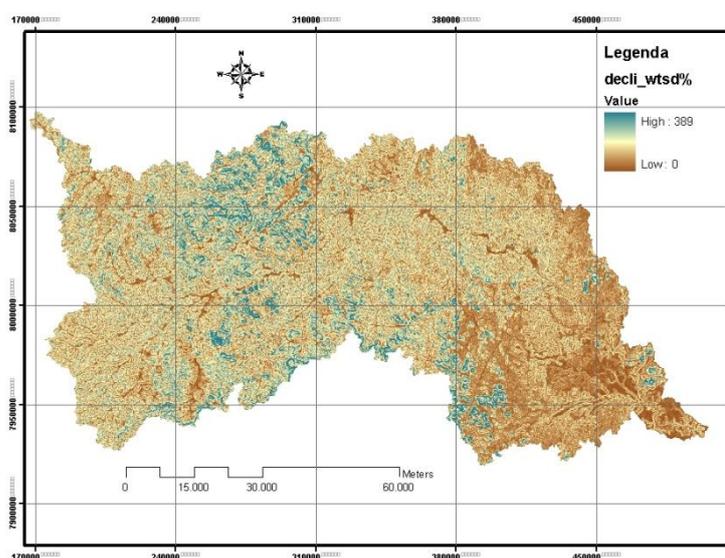


Figura 09 – Mapa de declividades da bacia hidrográfica do posto fluviométrico 55850000.

Analisando-se a Figura 09 pode-se constatar a variação de declividades em porcentagem do valor de 0 a 389%. Declividades acentuadas, bem como, o mau uso e conservação do solo podem fornecer indícios de alguns dos principais motivos para o grau de degradação da região em estudo.

A Figura 10 apresenta as declividades teóricas do rio principal (S1, S2, S3 e S4).

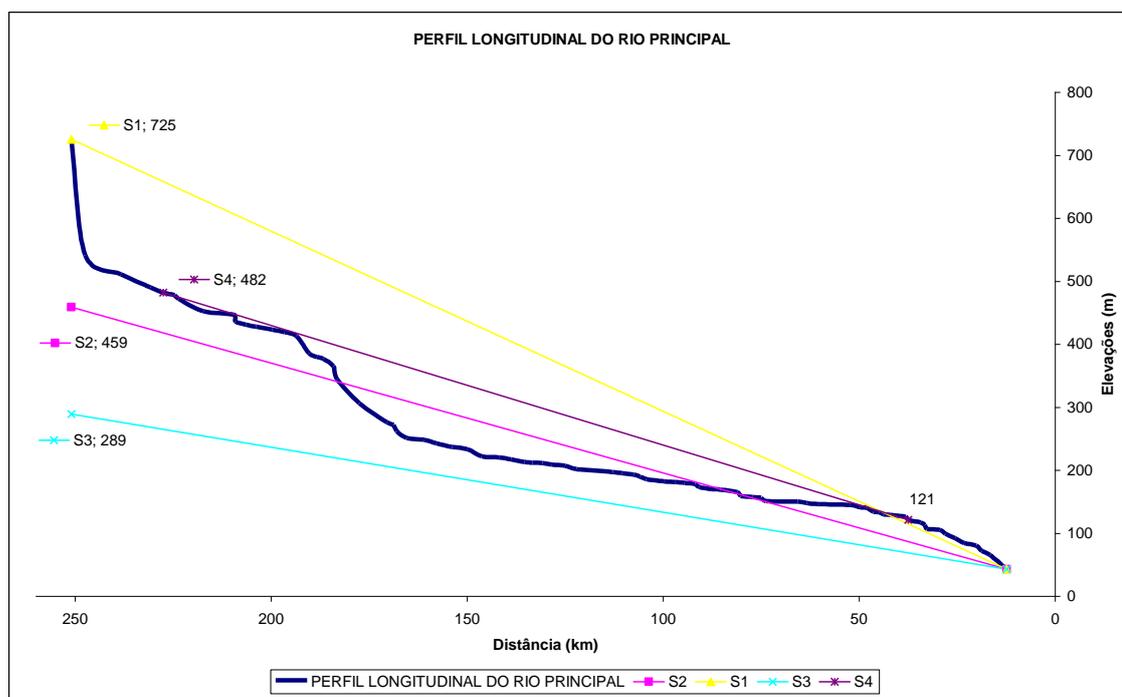


Figura 10 – Declividades calculadas para o rio principal (S1, S2, S3 e S4).

O modelo S3 é aquele que melhor representa a declividade do rio, porque leva em consideração o tempo de percurso da água ao longo da extensão do perfil longitudinal. A declividade estimada pelo modelo S3 foi calculada dividindo-se a extensão do rio em diversos trechos retilíneos.

O perfil longitudinal do rio principal foi obtido através do MDEHC e, conforme esperado, as áreas mais declivosas da bacia se encontram nas regiões de cabeceira, ao passo que as regiões com menores declividades se encontram na porção mediana da bacia.

#### 4. CONCLUSÃO

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) se mostraram uma ferramenta eficiente no que diz respeito à obtenção das características físicas da bacia, de uma forma simples e automatizada.

A ferramenta auxilia na apresentação dos resultados, sendo fácil a combinação de vários mapas. Outro ganho essencial é na reprodutividade dos resultados obtidos.

A drenagem numérica gerada a partir do MDEHC se mostrou representativa em seu grau de ramificação, comparativamente à hidrografia digitalizada a partir da carta topográfica do IBGE na escala 1:250.000.

Foi constatada uma melhoria na metodologia apresentada neste trabalho em comparação com os resultados obtidos por Elesbon (2004) feita segundo o autor de forma semi-automática para estudo de regionalização das bacias do Rio São Mateus, Itaúnas e Mucuri. Cabe ressaltar que a

diferença de escala e o procedimento totalmente automático foram os principais motivos nos desvios dos resultados obtidos.

Foram obtidas todas as características fisiográficas apresentadas. Cabe ressaltar que os resultados obtidos formam a base de estudos hidrológicos mais elaborados (Ex.: regionalização de vazões, estudos de impactos ambientais, projetos de redes de drenagem, etc.).

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), que viabilizou a realização deste trabalho.

## 6. REFERÊNCIAS

BAENA, L.G.N.; SILVA, D.D da.; PRUSKI, F.F.; CALIJURI, M.L. “Regionalização de Vazões com base em Modelo Digital de Elevação para a Bacia do Rio Paraíba do Sul.” Eng. Agríc. Jaboticabal, v.24, n.3, p.612-624, set./dez. 2004.

BARBOSA, F.L.R, SILVA, M. A., TEIXEIRA, A.A. “Delimitação de ottobacias a partir de modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado para a bacia do Verde Grande.” Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, 2007, p. 3271-3278.

BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. “Manual de Construção da Base Hidrográfica Ottocodificada: fase 1 – construção da base topológica de hidrografia e ottobacias conforme a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter : versão 2.0 de 1/11/2007.” Brasília : ANA, SGI, 2007. 144 p.

BUARQUE, D.C. *Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos. Monografia.* Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

COLOMBO, R.; VOGT, J. V.; SOILLE, P.; PARACCHINI, M. L.; JAGER, A. “Deriving river networks and catchments at the European.” Catena, vol 70, 2007, 296–305.

COSTA, C.A.G.; COSTA, A.C.; TEIXEIRA, A.S.; LEÃO, A. O. “Comparação do uso do SRTM para Delimitação e Caracterização Fisiográfica de uma Microbacia Hidrográfica.” Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4833-4840.

ELESBON, A.A.A. “*Utilização de sistemas de informação geográfica na regionalização de vazões-estudo de caso: bacias dos rios Mucuri, Itaúnas e São Mateus.*” Dissertação de Mestrado na Universidade Federal do Espírito Santo, 2004, 129 p.

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.

LUIZ, S.; SANTOS, A.R.S.; BRENNER, T.L. “*Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS.*” Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis – SC, 2007, INPE, p. 581-587.

MARQUES, F.A. “*Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos.*” Dissertação de Mestrado do Departamento de Engenharia Agrícola, da UFV. Viçosa – MG, 2006, 112 p.

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.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E.; DEL PRETTE, M.E. “*A utilização do conceito bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais.*” In: SCHIAVETTI, A. & CAMARGO, A.F.M. (Ed.). *Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações.* Ilhéus, Ba: Editus, 2002. p.17-35.

RABUS, B., EINEDER, M., ROTH, A. e BAMLER, R. “*The shuttle radar topography mission- a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar.*” *Photogrammetry and Remote Sensing*, 57, 2003, 241-262.

RIBEIRO, C.A.A.S.; SOARES, V.P.; SANTOS, R.M.; SOARES, C.P.B. “*Estruturação Topológica de Grandes Bases de Dados de Bacias Hidrográficas.*” *R. Árvore*, Viçosa – MG, v. 32, n. 4, p. 687-696, 2008.