

## USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO VICENTE, CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM (ES)

Reginaldo Alex Calçavara  
Universidade Federal do Espírito Santo  
reginaldocalcavara@gmail.com

### EIXO TEMÁTICO: GEOGRAFIA FÍSICA E GEOTECNOLOGIAS

#### Resumo.

A caracterização morfométrica de bacias hidrográficas é de fundamental importância para o reconhecimento da espacialidade deste sistema no que diz respeito aos seus limites externos, área, hierarquia da rede de drenagem, densidade de drenagem, gradiente de canais, comprimento da bacia, etc. Atualmente a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas tem recebido grande contribuição dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) associados à geração e à disponibilidade de Modelos Digitais de Elevação (MDEs). Desta forma, o objetivo geral do trabalho é a obtenção de variáveis morfométricas da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente – ES (BHCSV), através do uso de SIG associados à utilização de MDEs. Para isso, foram utilizados os softwares Arc Map 9.3 e SPRING 4.3.3, a carta topográfica digital do IBGE, folha Castelo e as fotografias aéreas digitais do IEMA. Através dos softwares e da base cartográfica utilizados, foi possível a elaboração de um MDE a partir do qual foram obtidas as cotas da bacia e gerados produtos derivados que serviram de base para a delimitação da BHCSV. O SIG possibilitou a obtenção direta de variáveis morfométricas do mapa da rede de drenagem da carta topográfica digital permitindo, assim, a obtenção de 15 variáveis morfométricas da BHCSV.

**Palavras-chave:** morfometria, SIG, MDE, Córrego São Vicente.

#### Abstract.

Morphometric characterization of watersheds is essential for the recognition of the spatiality of this system with respect to its outer limits, area, the hierarchy of the drainage network, drainage density, channel gradient, length of the basin, etc.. Currently the morphometric characterization of watersheds has received great assistance from the Geographic Information Systems (GIS) associated with the generation and the availability of Digital Elevation Models (DEMs). Thus, the aim of this work is to obtain morphometric variables from Watershed of Stream St Vincent - ES (BHCSV), through the use of GIS with the use of DEMs. For this, we used the software Arc Map 9.3, SPRING 4.3.3, digital topographic map of IBGE, leaf Castelo and IEMA digital aerial photographs for. Through software and cartographic database used was possible to prepare an DEM from which we obtained the quota of the basin and generated products that were the basis for the delimitation of BHCSV. The GIS allowed us to obtain direct morphometric variables map of the drainage network from digital topographic maps, thus allowing to obtain 15 morphometric variables BHCSV.

**Key Words:** morphometry, GIS, DEM, São Vicente Stream

#### Justificativa e problemática

Rodrigues e Adami (2005: 147) dizem que os erros mais comuns na definição de bacia hidrográfica são aqueles que a definem como área drenada por uma rede de canais fluviais interligados, pois, apresentam uma visão bidimensional da bacia, deixando, assim, de considerar os limites internos deste sistema por onde circula e atua grande parte da água envolvida na sua dinâmica. Levando em consideração esses equívocos, estes autores definem Bacia Hidrográfica como um sistema próximo à superfície terrestre que compreende um volume de materiais, predominantemente

sólidos e líquidos, e que tem seus limites interno e externo delimitados pelos processos que, dado o fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais.

Botelho (1999) destaca alguns pesquisadores (CHORLEY, 1969; COOKE e DOORNKAMP, 1990, entre outros) que colocam a Bacia Hidrográfica como unidade natural de análise da superfície terrestre, pois, na bacia hidrográfica é possível reconhecer e estudar as inter-relações entre os elementos da paisagem e os processos que atuam em sua esculturação.

Nota-se, portanto, a importância dos estudos e análises das Bacias Hidrográficas, sendo a caracterização morfométrica<sup>1</sup> de fundamental importância para o reconhecimento da espacialidade do sistema no que diz respeito aos seus limites externos, área, hierarquia da rede de drenagem, densidade de drenagem, gradiente de canais, comprimento da bacia, etc. (RODRIGUES e ADAMI, 2005).

As variáveis morfométricas apresentam dados importantes acerca da dinâmica de uma bacia hidrográfica como, por exemplo, a velocidade de escoamento das águas, a maior ou menor susceptibilidade a erosões e cheias, o balanço entre escoamento superficial e infiltração, o potencial hídrico da bacia, dentre outros.

Atualmente a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas tem recebido grande contribuição, no sentido de automatização, agilização e maior precisão na extração de informações, dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) associados à geração e à disponibilidade de Modelos Digitais de Elevação (MDEs).

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço (Burrough, 1986, *apud*, Almeida e Berger, 2007). O MDE, de acordo com Valeriano (2003), é um exemplo evidente da utilização dos Modelos Numéricos de Terreno (MNT), termo que designa a representação matemática e computacional da distribuição de um fenômeno espacial em uma dada região da superfície terrestre (Namikawa, et al., 2003).

Dentre os MDEs podem-se destacar os Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistentes (ou condicionados) (MDEHC), que de acordo com ESRI (2010), *apud* Elesbon, *et. al.* (2011: 282), são representações do relevo que reproduzem, com exatidão, o caminho preferencial de escoamento da água superficial observado no mundo real.

Ainda segundo Elesbon, *et. al.* (2011:282) a utilização de MDEHC, juntamente com os SIGs é fundamental para a obtenção automática das características morfométricas das bacias de drenagem.

No que se refere aos SIGs, Fitz (2008: 23) define estes como “...um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o

---

<sup>1</sup> Florenzano (2008: 12 e 17) define morfometria, também denominada índices morfométricos, como sendo a caracterização do relevo por meio de variáveis quantitativas, referindo-se, assim, aos aspectos quantitativos do relevo. Desta forma, poder-se-ia dizer que as variáveis morfométricas de uma bacia hidrográfica, são aquelas relativas aos seus aspectos quantitativos, ou seja, às suas medidas.

*objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido”.*

No presente trabalho serão abordadas as seguintes variáveis morfométricas: hierarquia, área e perímetro da bacia, comprimento e número dos canais, amplitude altimétrica, distância vetorial do canal principal, relação de relevo, densidade hidrográfica e de drenagem, coeficiente de manutenção, gradiente de canais e índice de circularidade e sinuosidade.

## **Objetivos**

### **Objetivo Geral:**

O objetivo geral do trabalho é a obtenção de variáveis morfométricas da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente – ES, através do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) associados à utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

### **Objetivos Específicos:**

- 1 – Geração de um Modelo Digital de Elevação da bacia e produtos derivados;
- 2 - Delimitação da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente;
- 3 - Hierarquização dos canais fluviais da bacia;
- 4 - Cálculo das variáveis morfométricas da bacia.

## **Materiais e métodos**

### **Área de Estudo**

A Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente (BHCSV) está localizada no Município de Cachoeiro de Itapemirim, região Sul do Estado do Espírito Santo. Está compreendida dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, uma das mais importantes bacias hidrográficas desta região, abrangendo 17 municípios. A Figura 01 abaixo mostra a localização da BHCSV.

### **Materiais e procedimentos adotados**

O trabalho foi desenvolvido com o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sendo para tanto, utilizados os *softwares* Arc Map 9.3 e SPRING 4.3.3 (CÂMARA, et al, 1996).

Foram utilizados ainda para o desenvolvimento do trabalho, a carta topográfica digital do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) nº 26142, correspondente à Folha Castelo, de escala 1:50.000 e as fotografias aéreas do ortofotomosaico<sup>2</sup> digital do IEMA (Instituto Estadual do Meio Ambiente), escala 1:15.000.

---

<sup>2</sup> Para maiores detalhes deste material, consultar Referência Técnica em: <http://www.meioambiente.es.gov.br/default.asp>

A carta topográfica digital do IBGE foi utilizada para a geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir do qual foram obtidos os valores referentes às cotas da bacia, bem como, juntamente com os demais materiais, foi utilizado para a delimitação da bacia.

A rede de drenagem da carta topográfica, por sua vez, foi utilizada para a obtenção dos parâmetros morfométricos diretamente relacionados aos canais fluviais.

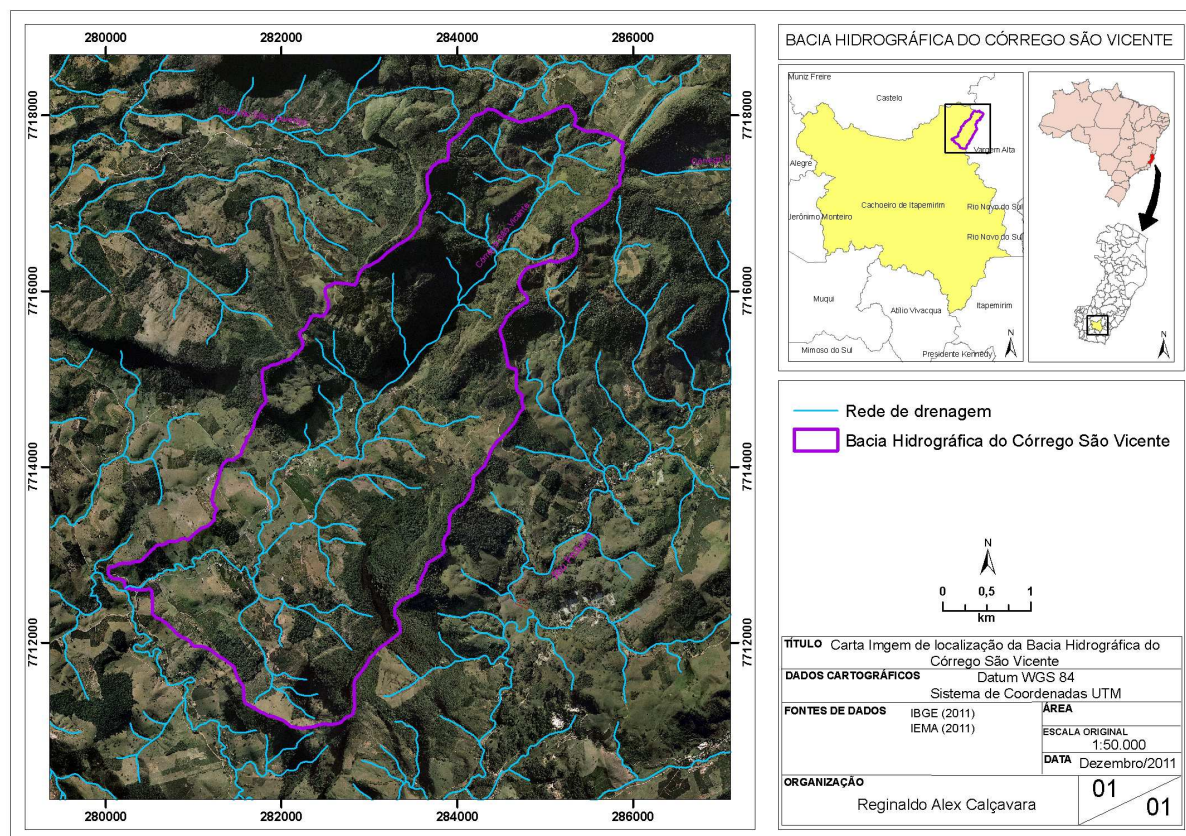


Figura 01 – Carta Imagem de localização da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente

### Geração do Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE foi gerado a partir das curvas de nível da carta topográfica utilizada, que serviram, assim, como amostras (NAMIKAWA, *et al.*, 2003)<sup>3</sup> para a geração do MDE. Para isso, recortou-se, através da ferramenta *Clip* do Arc Map 9.3, uma área desta carta que englobasse a Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente. No software SPRING, estas curvas da área recortada receberam tratamento com a ferramenta *Limpar Vetor* de modo a tornar cada curva uma única linha, uma vez que, no arquivo original, cada curva de nível é constituída de uma série de linhas. Tal procedimento se faz

<sup>3</sup> A amostragem, segundo Namikawa, *et al.* (2003: 25), "...compreende a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno de interesse. Geralmente essas amostras estão representadas por curvas de isovalores e pontos tridimensionais". No presente trabalho, o fenômeno de interesse para a construção do MDE é a altitude, representada aqui, pelas curvas de nível, que são curvas de isovalores representativas da altitude.

necessário para a agilização da etapa posterior que se constitui na atribuição das cotas (valor Z) às curvas.

Esta etapa foi também realizada no SPRING, convertendo-se o arquivo originado da limpeza de vetores em Linhas de Quebra MNT, durante a importação do mesmo. Na *Edição Vetorial*, no modo de *Verificação*, procedeu-se à seleção de cada curva de nível e posterior atribuição das respectivas cotas no campo *Valor Z* da caixa *Verificação de Linhas*. Após a atribuição das cotas em todas as curvas, o arquivo foi exportado no formato shp (shapefile) para posterior geração do MDE.

O MDE propriamente dito foi gerado no Arc Map 9.3 através da ferramenta *Topo to Raster* do *Arc Toolbox*, seguindo a metodologia descrita por Peluzio, *et al* (2010). Através desta ferramenta, é gerado um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Foram realizadas ainda neste MDEHC o preenchimento de Depressões Espúrias<sup>4</sup>, de acordo com metodologia descrita por Peluzio, *et al* (2010), através da ferramenta *Fill* no *Arc Toolbox*. A partir deste MDEHC foram obtidos os dados relativos à altitude da bacia, bem como foi também gerada uma imagem sombreada e um mapa de orientação de vertentes<sup>5</sup> para auxiliar na delimitação da bacia. O MDEHC foi ainda utilizado para a construção do Perfil Longitudinal<sup>6</sup> do Córrego São Vicente.

A imagem sombreada foi gerada através da ferramenta *Hillshade* do *3D Analyst*, no ArcMap 9.3. O mapa de orientação de vertentes, por sua vez, foi gerado através da ferramenta *Aspect* do *3D Analyst*, também no ArcMap 9.3. Quanto ao perfil longitudinal, foi utilizada a ferramenta *Interpolate Line*, do *3D Analyst* para traçar uma linha sobre a linha correspondente ao traçado do Córrego São Vicente na carta topográfica digital do IBGE. Após o traçado desta linha, foi utilizada a ferramenta *Create Profile Graph*, também do *3D Analyst* para a geração do perfil, tendo como base (no campo *Layer* do *3D Analyst*) o PI correspondente ao MDEHC.

Tanto o MDEHC, como os seus produtos derivados (imagem sombreada e mapa de orientação de vertentes), foram gerados com resolução espacial<sup>7</sup> de 10 m, pois, este valor corresponde à precisão

---

<sup>4</sup> As Depressões Espúrias são pontos com altitudes equivocadas devido ao processo de interpolação ou obtenção de dados por satélite (ELESBON, *et al*, 2011).

<sup>5</sup> “A orientação de vertentes é uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimute, isto é, em relação ao Norte geográfico, onde o valor é 0° (ou 360°), crescendo dessa direção, no sentido horário. Corresponde à direção azimutal do vetor cujo módulo é a declividade.” (VALERIANO, 2008: 87).

<sup>6</sup> Rodrigues e Adami (2005: 165) apontam que dentre as leituras mais comuns que podem ser feitas a partir do perfil longitudinal, podem ser destacadas as que identificam os *knick points* (formas salientes convexizadas) e as mais importantes rupturas de declive ao longo do perfil.

<sup>7</sup> Jensen (2009: 19-20), se referindo à aquisição de imagens por sensoriamento remoto, define resolução espacial como a “...medida da menor separação angular ou linear entre dois objetos que pode ser determinada pelo sistema de sensoriamento remoto”. Apesar de o autor se referir a dados de sensoriamento remoto, o uso da definição no presente trabalho se faz pertinente na medida em que o MDE obtido a partir das curvas de nível é semelhante a MDEs obtidos a partir de sensores ativos de satélites (JENSEN, 2009), como é o caso, por exemplo, dos dados SRTM (ver a esse respeito, VALERIANO (2004)). Esses dados constituem-se de grades regulares (NAMIKAWA, *et al.*, 2003), que são constituídas por *pixels*, o menor elemento não-divisível de uma

gráfica percebida pela maioria dos usuários, que é de 0,2 mm de diâmetro, e caracteriza o erro gráfico vinculado à escala de representação (PELUZIO, *et al.*, 2010). Assim, como os dados utilizados para a geração do MDE (carta topográfica digital do IBGE) encontram-se na escala de 1:50.000, a resolução é obtida pela multiplicação do denominador da escala (50.000) pela precisão gráfica (0,2 mm), encontrando-se, assim, o valor de 10 m (ou 10.000 mm).

### **Delimitação da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente**

Para a delimitação da BHCSV foram utilizadas as curvas de nível e a rede de drenagem da carta topográfica digital do IBGE, um mapa de orientação das vertentes gerado a partir do MDEHC e as fotografias aéreas do ortofotomosaico digital do IEMA. A delimitação da bacia foi feita por interpretação visual destes dados, seguindo os procedimentos descritos por Rodrigues e Adami (2005), sendo que as curvas de nível e a rede de drenagem foram sobrepostas às fotografias aéreas e o traçado dos divisores de águas foi feito com base, preferencialmente, nestes três dados. O mapa de orientação de vertentes serviu como apoio em locais onde a identificação dos divisores não era muito nítida. Todo o procedimento para a delimitação da bacia foi realizado no Arc Map 9.3 com a ferramenta *Editor*. O cálculo da área e perímetro da bacia foram também efetuados no Arc Map 9.3 através da ferramenta *Calculate Geometry*, na Tabela de Atributos (*Attribute Table*).

### **Hierarquização dos canais fluviais e Parâmetros Morfométricos**

A hierarquia dos canais fluviais reflete o grau de ramificação da rede de drenagem da bacia e indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia sendo um indicativo da propensão desta à ocorrência ou não de cheias (ELESBON, *et. al.*, 2011).

Para a hierarquização dos canais fluviais da bacia hidrográfica adotou-se o sistema proposto por Strahler, presente em Christofolletti (1980). No sistema de Strahler, os menores canais da bacia, sem tributários, são considerados de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência. Os canais considerados de segunda ordem têm origem na confluência de dois canais de primeira ordem e só receberão afluentes de primeira ordem. Os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem e podem receber afluentes de segunda e primeira ordem. Os canais de quarta ordem vão surgir da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber afluentes de ordens inferiores, e assim, continuando sucessivamente para ordens superiores (5<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, etc.).

A hierarquização assim como os parâmetros morfométricos relacionados diretamente aos canais fluviais foram obtidos a partir da rede de drenagem da carta topográfica digital do IBGE. Para tanto, recortou-se apenas os canais compreendidos no interior da bacia através da ferramenta *Clip* do

---

imagem digital (JENSEN, 2009: 196). Sendo assim, a resolução espacial guarda estreita relação com os *pixels* de uma imagem, ou de um MDE.

Arc Map 9.3, gerando-se assim um PI (Plano de Informação) correspondente à drenagem da BHCSV. Assim, como no tratamento das curvas de nível, as linhas correspondentes à rede de drenagem receberam tratamento prévio uma vez que, os canais, sobretudo os de 3ª e o de 4ª ordem apresentavam-se em linhas fragmentadas. Desta forma, os fragmentos de linhas correspondentes a cada ordem foram unificados através da ferramenta *Concatenar Linhas* do SPRING 4.3.3, para posterior hierarquização e representação no mapa.

A hierarquização foi então feita no Arc Map 9.3 através da seleção manual das linhas correspondentes aos canais fluviais na ferramenta *Editor* e atribuição da ordem (1ª, 2ª, 3ª e 4ª) na Tabela de Atributos do PI de drenagem da BHCSV, conforme a metodologia de Strahler descrita acima.

Os cálculos de comprimento e número dos canais foram realizados na tabela de atributos do PI de drenagem da BHCSV através da ferramenta *Calculate Geometry* e *Summarize*, respectivamente.

Os valores obtidos através do MDEHC, da delimitação da BHCSV e do mapa de drenagem da carta topográfica digital foram utilizados para a obtenção dos parâmetros morfométricos da BHCSV, sendo que alguns destes valores foram utilizados diretamente e outros foram aplicados em formulas.

As tabelas 1 e 2, a seguir, mostram de forma resumida os parâmetros utilizados para a caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente.

Tabela 1. Parâmetros da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente.

Parâmetro	Definição
Hierarquia	Estabelecimento da classificação de determinado curso de água, ou da área por ele drenada, no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra (CHRISTOFOLETTI, 1980).
Área da bacia (A)	Toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal (CHRISTOFOLETTI, 1980).
Perímetro da bacia (P)	Medida do comprimento da linha do divisor de águas que delimita a área da bacia (RODRIGUES, et al, 2008).
Comprimento do canal principal (L)	É o comprimento do canal principal da bacia
Comprimento total dos canais (C)	Soma do comprimento de todos os canais da bacia.
Número total de canais (n)	Adotando-se a ordenação de Strahler, corresponde à quantidade de canais de primeira ordem (CHRISTOFOLETTI, 1980).
Amplitude altimétrica ( $\Delta a$ )	Diferença entre as cotas altimétricas máxima e mínima.
Distância vetorial do canal principal (dv)	Distância em linha reta entre a nascente e a desembocadura do canal principal.

Tabela 2 – Parâmetros para a quantificação da forma da bacia e dos componentes da rede hidrográfica e parâmetros combinados.

Parâmetro	Equação	Definição
Relação de relevo (Rr)*	$Rr = \frac{\Delta a}{L}$	Estabelece a relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal (ALVES e CASTRO, 2003).
Densidade hidrográfica (Dh)*	$Dh = \frac{n}{A}$	É a relação existente entre o numero de cursos d'água e a área da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Densidade de drenagem (Dd)*	$Dd = \frac{C}{A}$	Correlação entre o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980).
Coefficiente de manutenção (Cm)**	$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$	É o inverso da Densidade de drenagem (RODRIGUES e ADAMI, 2005).
Gradiente de canais (Gc) (%)**	$Gc = \frac{\text{Alt. máx.}}{L}$	Relação entre a cota máxima e o comprimento do canal principal, em porcentagem (ALVES e CASTRO, 2003).
Índice de circularidade (IC)***	$Ic = \frac{A}{Ac****}$	É a relação entre a área da bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro (CHRISTOFOLETTI, 1980).
Índice de sinuosidade (Is)***	$Is = \frac{L}{dv}$	É a relação entre o comprimento do canal principal e sua distância vetorial.

(\*) Parâmetros para a quantificação da forma da bacia

(\*\*) Parâmetros para a quantificação dos componentes da rede hidrográfica

(\*\*\*) Parâmetros combinados

(\*\*\*\*) Área de um círculo de perímetro igual ao perímetro da bacia hidrográfica

### Resultados e Discussões

#### Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente e produtos derivados

A Figura 02 a seguir mostra o MDEHC obtido a partir das curvas de nível da carta topográfica digital do IBGE. Nesta Figura é apresentada uma fusão entre este MDEHC e a Imagem Sombreada derivada deste modelo para causar a impressão de tridimensionalidade.

A Figura 03, por sua vez, mostra o mapa de orientação de vertentes utilizado como apoio para a delimitação da bacia hidrográfica.

O mapa de orientação de vertentes permitiu visualizar as mudanças de direção azimutal da inclinação das vertentes, o que possibilitou distinguir com clareza satisfatória as linhas de inflexão da direção de uma vertente para outra, linhas estas, correspondentes aos divisores de água. Este mapa, associado aos demais produtos do MDE, bem como à base cartográfica, permitiu traçar os limites da BHCSV, representado pela linha preta no mapa. É possível notar, no mapa, a correlação desta linha com a mudança de cores (mudança na direção das vertentes), correspondentes aos divisores de água.

A partir do MDEHC foi possível identificar os padrões altimétricos da BHCSV assim como as cotas mínima (97,68m) e máxima (1.189,19m), importantes para a definição dos parâmetros morfométricos de Amplitude Altimétrica, Relação de Relevo e Gradiente de Canais, bem como foi possível a geração da Imagem Sombreada e do mapa de orientação das vertentes, importantes para a delimitação da bacia.

O MDEHC permitiu ainda o traçado do Perfil Longitudinal (Figura 04) do Córrego São Vicente mostrando as variações altimétricas ao longo do leito do córrego, bem como, as quebras de declive deste.



USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO PARA OBTENÇÃO DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO VICENTE, CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM (ES)

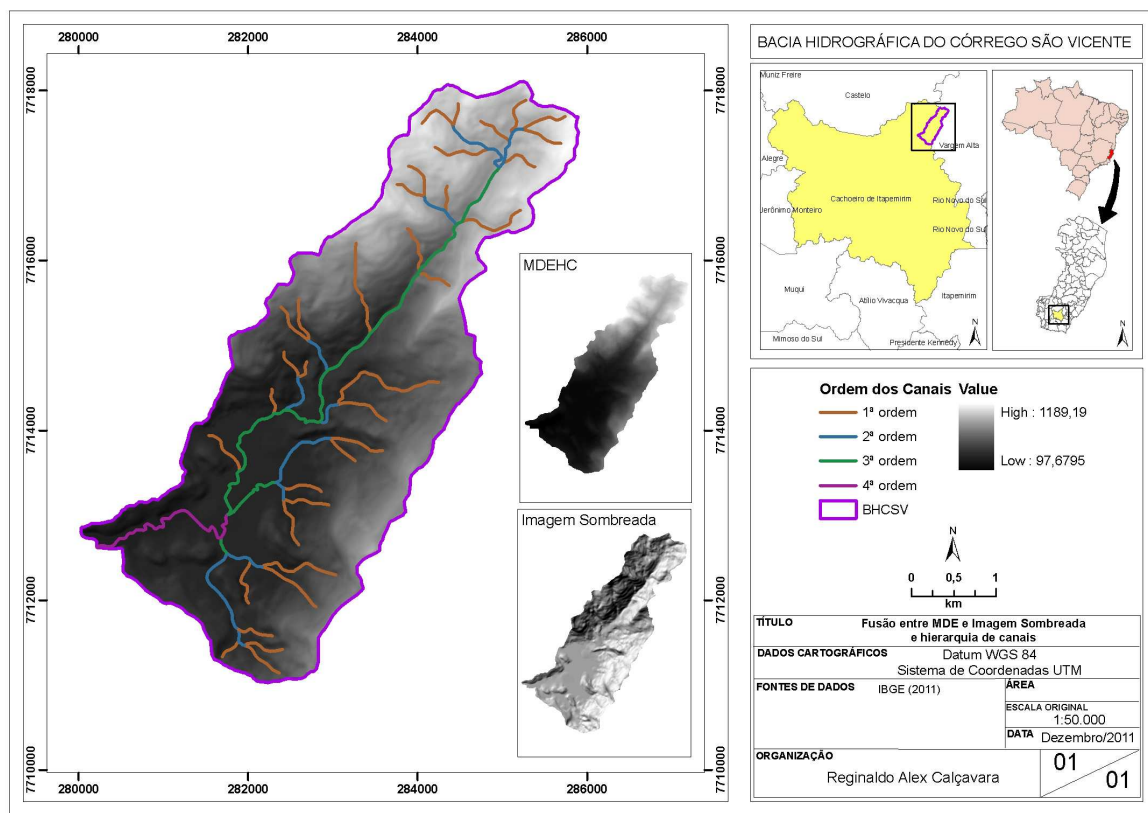


Figura 02 – Fusão entre o MDEHC e Imagem Sombreada da BHCSV e hierarquia de canais.

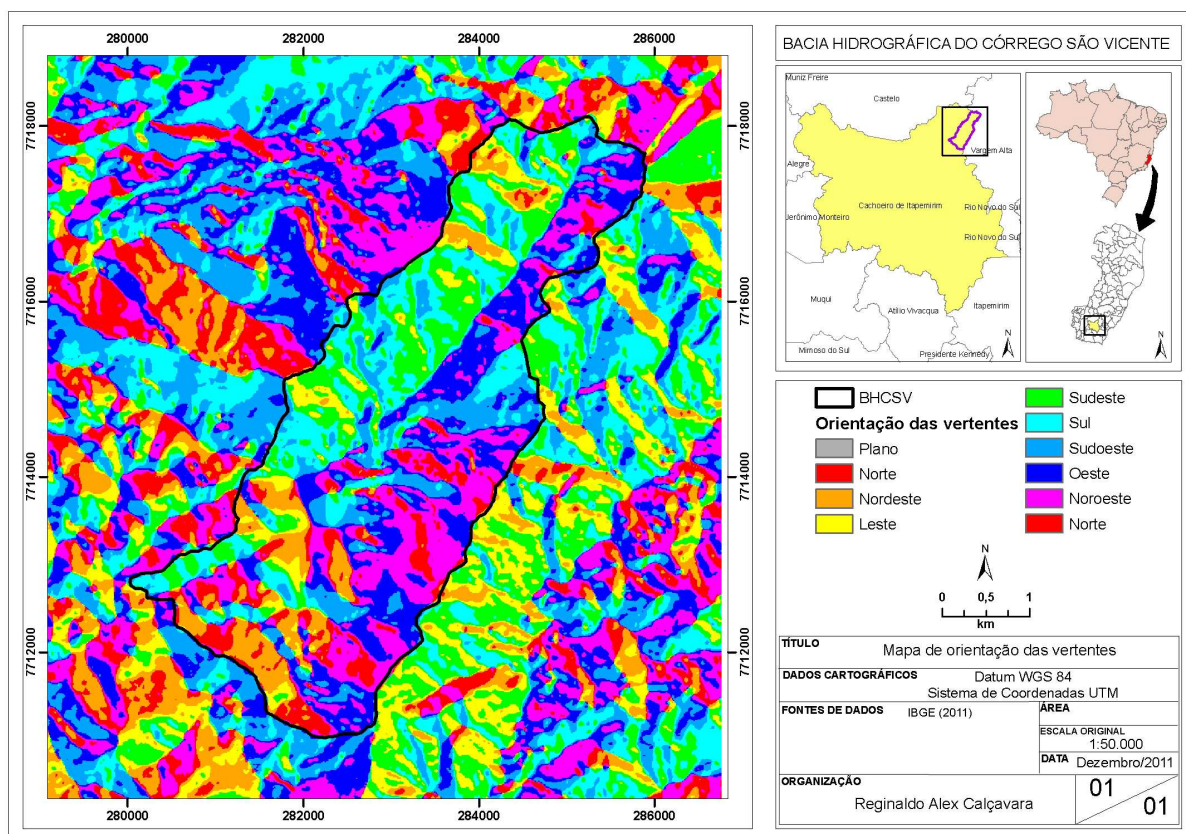


Figura 03 – Mapa de orientação das vertentes.

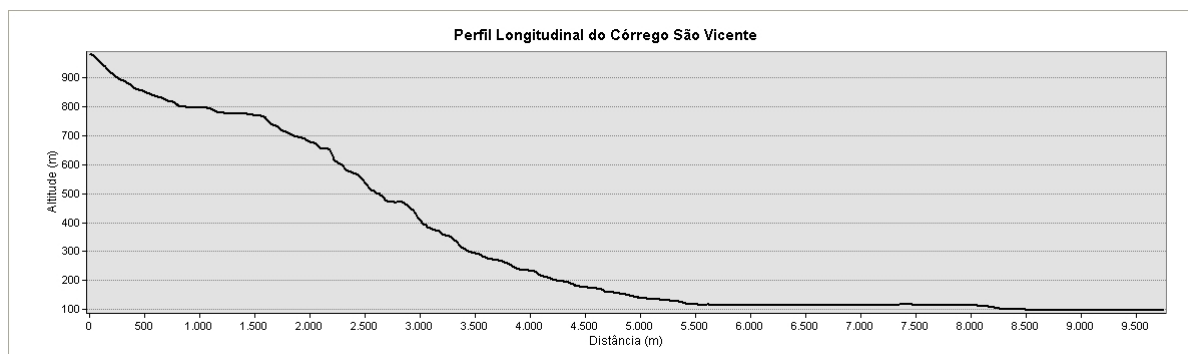


Figura 04 – Perfil Longitudinal do Córrego São Vicente

### **Delimitação da bacia**

A partir dos produtos gerados pelo MDEHC (Imagem Sombreada e mapa de orientação das vertentes), juntamente com as curvas de nível e rede de drenagem da carta topográfica digital do IBGE e ainda as fotografias aéreas do IEMA, foi possível traçar os limites da BHCSV, como mostram as figuras 01, 02 e 03.

O traçado dos limites da bacia permitiu o cálculo de sua área (16,33 Km<sup>2</sup>) e perímetro (21,98 Km), valores estes, de grande importância na caracterização morfométrica, pois, são empregados no cálculo de 5 das 15 variáveis analisadas no presente trabalho.

### **Hierarquia da Bacia**

Através da aplicação da metodologia de Strahler (CHRISTOFOLETTI, 1980) para a hierarquização da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente, identificou-se que esta bacia é de 4ª ordem, conforme mostra o mapa da Figura 02.

### **Parâmetros Morfométricos**

As variáveis obtidas a partir no MDEHC e do mapa da rede de drenagem da carta topográfica do IBGE foram utilizados, ora diretamente, ora aplicados em fórmulas (conforme tabelas 1, 2, 3 e 4), para a obtenção dos parâmetros morfométricos utilizados para a caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente. Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos para os parâmetros morfométricos da BHCSV.

Tabela 3 – Características morfométricas da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrependido.

Parâmetro	Resultado obtido
Hierarquia	4ª ordem
Área da Bacia (A)	16,33 Km <sup>2</sup>
Perímetro da Bacia (P)	21,98 Km
Comprimento do canal principal (L)	9,67 Km
Comprimento total dos canais (C)	35,44 Km
Número total de canais (n)	35
Amplitude altimétrica ( $\Delta a$ )	1091,51 m
Distância vetorial do canal principal (dv)	7,5 Km
Relação de relevo (Rr)	0,11
Densidade hidrográfica (Dh)	2,14 canais/Km <sup>2</sup>
Densidade de drenagem (Dd)	2,17 Km/Km <sup>2</sup>
Coefficiente de manutenção (Cm)	460,83 m <sup>2</sup> /m
Gradiente de canais (Gc)	0,12 %
Índice de circularidade (Ic)	0,43
Índice de sinuosidade (Is)	1,29

### Conclusão

A utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) permitiu a geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir das curvas de nível (amostras) da carta topográfica do IBGE. A partir deste MDE, foi possível gerar produtos (imagem sombreada e mapa de orientação de vertentes) que auxiliaram na delimitação da Bacia Hidrográfica do Córrego São Vicente (BHCSV), através da integração destes produtos com os PIs referentes às curvas de nível, à rede de drenagem e às fotografias aéreas. O MDE permitiu ainda a extração direta de variáveis morfométricas da BHCSV, como as cotas máximas e mínimas da bacia foram também utilizadas em fórmulas para o cálculo de outras variáveis.

A hierarquização dos canais da bacia, mesmo sendo feita manualmente, teve grande contribuição do SIG no que se refere à facilidade para a visualização dos canais de cada ordem, como é possível verificar no mapa da Figura X. Além disso, o SIG facilitou o tratamento prévio do mapa da rede de drenagem da carta topográfica digital para posterior representação da hierarquia dos canais.

O SIG possibilitou ainda a obtenção direta das variáveis morfométricas referentes ao comprimento do canal principal e comprimento e número total de canais a partir do mapa da rede de drenagem da carta topográfica, bem como a obtenção dos valores de área e perímetro da bacia, a partir do PI referente aos limites da bacia.

As variáveis morfométricas obtidas diretamente serviram de base para o cálculo das demais variáveis através do seu emprego nas fórmulas descritas nas tabelas 2, permitindo assim, a obtenção de um total de 15 variáveis morfométricas para a BHCSV.

Além de permitir a obtenção das variáveis morfométricas da BHCSV, cabe destacar a contribuição do SIG na confecção dos mapas presentes neste trabalho, bem como, ressaltar a viabilização, por parte do SIG, da integração de dados de fontes diversas em uma única base para a extração de informações que possibilitaram o desenvolvimento do presente trabalho.

### **Referências Bibliográficas**

ALMEIDA, A. Q. de.; BERGER, B. **Comparação entre áreas de preservação permanente demarcadas a partir de diferentes escalas topográficas.** In: MORAIS, A. C. de.; SANTOS, A. R. dos. (Org.) *Geomática e análise ambiental: aplicações práticas.* Vitória: EDUFES, 2007. cap. 1, p.19-39.

ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P. de T. A. **Influência de feições geológicas na morfologia da Bacia do Rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 33, n. 2, p. 117-124, jun. 2003.

BOTELHO, R. G. M. **Planejamento ambiental em Microbacia Hidrográfica.** In: GUERRA, A. J. T. et al. (org). **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. Cap. 8, p. 269-300.

CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling.** *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, May-Jun 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 2ª ed., 1980. Cap. 4, p. 102-125.

ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D. da; OLIVEIRA, I. de C. **Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus – Brasil.** *Revista Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 64, n. 3, p. 281-288, jul-set. 2011.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, Tereza Gallotti. **Introdução à Geomorfologia.** In: FLORENZANO, Tereza Gallotti. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

IBGE. **Cartas Topográficas Vetoriais do Mapeamento Sistemático** – Folha Castelo 0426142. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento\\_sistemático/topograficos/escala\\_50mil/vetor/castelo26142/vetor/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistemático/topograficos/escala_50mil/vetor/castelo26142/vetor/) Acesso em nov. 2011.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos Neves Epiphânio (coord) [et. al.]. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

NAMIKAWA, L. M.; FELGUEIRAS, C. A.; MURA, J. C.; ROSIM, S.; LOPES, E. S. S. **Modelagem Numérica de Terreno e aplicações**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. 142 p. (INPE-9900-PUD/129).

PELUZIO, T. M. de O; SANTOS, A. R. dos; FIEDLER, N. C. (org.). **Mapeamento de Áreas de Preservação Permanente no ArcGIS 9.3**. Alegre: CAUFES, 2010.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de Bacias Hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. (org.) **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. Cap. 9, p. 147-166.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, S. **Caracterização morfométrica da Microbacia Hidrográfica do Córrego da Fazenda Glória, Município de Taquaritinga, SP**. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 310-322, jul.-set. 2008.

VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 3, p. 72-104.

\_\_\_\_\_. **Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 72 p. (INPE-10550-RPQ/756).

\_\_\_\_\_. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.