

Moacir Mello Salles

**O USO DO SIG NA ANÁLISE
MORFOMÉTRICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO
JOÃO – MG**

XII Curso de Especialização em Geoprocessamento
2010



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartog@igc.ufmg.br

**O USO DO SIG NA ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SÃO JOÃO – MG**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de especialista em Geoprocessamento. Curso de especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Timbó Elmiro

Co-orientador: Prof. Ms. Bráulio Magalhães Fonseca

BELO HORIZONTE

2010

S168u Salles, Moacir Mello.
2010 O uso do SIG na análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São João – MG [manuscrito] Moacir Mello Salles. – 2010.
ix, 29 f. : il.

Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2010.

Orientador: Marcos Antônio Timbó Elmiro.

Co-orientador: Bráulio Magalhães Fonseca.

Bibliografia: f. 27-29.

1. Sistemas de informação geográfica. 2. Bacias hidrográficas. 3. São João, Rio, Bacia (MG). I. Emiro, Marcos Antônio Timbó. II. Fonseca, Bráulio Magalhães. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 528.8

Aluno Moacir Mello Salles

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 16 de dezembro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Marcos Antonio Timbó Elmiro

Prof. Ms. Bráulio Magalhães Fonseca

RESUMO

Este estudo, apresenta resultados da análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio São João, visando comprovar que a mesma possui morfodinâmica diferenciada e que a sua compreensão pode embasar decisões ou auxiliar na resolução de problemas fornecendo subsídios para seu ordenamento e gestão territorial.

A bacia hidrográfica do rio São João, inserida na bacia do rio Doce, localizada a nordeste da Serra da Gandarela, municípios de Santa Barbara e Barão de Cocais, Minas Gerais, foi eleita como objeto de estudo devido às fortes pressões sofridas por diversas atividades, tais como mineração, agropecuária e expansão urbana. Tais processos intensificam e potencializam seus processos erosivos.

Para a presente pesquisa foram coletadas informações bibliográficas e processados dados geográficos para geração de parâmetros morfométricos. Através do software ArcGis foi feita a manipulação da imagem Aster gerando um Modelo Digital de Elevação (MDE). A partir do MDE foi gerado rede de drenagem e calculados alguns parâmetros morfométricos para o estudo do comportamento hidrológico da bacia, sendo os resultados: área de drenagem 181,41 km², perímetro 82,64 km, coeficiente de compacidade 1,72, fator de forma: 0,20, índice de circularidade 0,33, ordem da bacia 5 e densidade de drenagem 2,07 Km/Km².

De acordo com os resultados obtidos podemos afirmar que a bacia hidrográfica do rio São João possui maior vigor energético nas cabeceiras e mostra-se pouco suscetível à enchentes em condições normais de precipitação.

Os resultados obtidos podem auxiliar na produção de diagnósticos, embasar decisões, auxiliar na resolução de problemas sobre implementação de empreendimentos na região, compatibilizando assim os diversos usos e interesses pela água.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE EQUAÇÕES	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	ix
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Apresentação.....	1
1.2 – Objetivos	3
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1 – Bacia Hidrográfica	4
2.2 – Morfometria de Bacias Hidrográficas	5
2.3 – Modelos Digitais de Elevação.....	6
2.4 – Modelos Hidrológicos	8
2.5 – Índice de Hack.....	8
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS	10
3.1 – Caracterização da área de estudo	10
3.2 – Base Cartográfica	12
3.3 – Modelo Digital de Elevação.....	14
3.4 – Análises Morfométricas	14
3.5 – Análises Estatísticas Espaciais	15
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
4.1 – Comparação topológica das bases cartográficas referentes à rede de drenagem	17
4.2 – Resultados das Análises Morfométricas	17
4.3 – Resultados das Análises Estatísticas Espaciais	22
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 – Localização da área de estudo	10
3.2 - Localização das estruturas geológicas da região de estudo	11
3.3 - Articulação das cartas topográficas	13
4.1 - Figura comparativa das redes de drenagem	17
4.2 - Ordenamento da bacia hidrográfica por Strahler	20
4.3 - Distribuição das classes de declividades segundo a Embrapa.....	21
4.4 - Distribuição da altitude de acordo com a área.....	22
4.5 - Distribuição espacial dos valores calculados para o Índice de Hack	23
4.6 - Distribuição espacial do índice de Hack através do interpolador IDW.....	23
4.7 - Distribuição espacial do índice de Hack através do Diagrama de Voronoi.....	24

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Classificação da declividade segundo a Embrapa (1979).....	15
4.1 - Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio São João.....	18
4.2 - Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio São João.....	20

LISTA DE EQUAÇÕES

	<u>Pág.</u>
2.1 - Equação da competência energética utilizando índice de Hack	9
2.2 - Equação do equilíbrio energético por Leopold: comprimento por área de drenagem.....	9
2.3 - Equação do equilíbrio energético por Leopold: comprimento por descarga do rio.....	9
3.4 - Equação do coeficiente de compacidade.....	14
3.5 - Equação do fator de forma.....	14
3.6 - Equação do índice de circularidade.....	14
3.7 - Equação da densidade de drenagem.....	15
3.8 - Equação do índice de Hack.....	15

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DEM	- Digital Elevation Model
DTM	- Digital Terrain Model
EMQ	- Erro Médio Quadrático, também chamado RMSE (Root Mean Square Error)
GPS	- Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
ICP	- Interactive Closest Point (Algoritmo Iterativo do Ponto Mais Próximo)
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
InSAR	- Interferometric Synthetic Aperture Radar
JPL	- Jet Propulsion Laboratory (Laboratório de Propulsão a Jato)
LIDAR	- Light Detection and Ranging
MDA	- Modelo Digital de Alturas
MDE	- Modelo Digital de Elevação
MDS	- Modelo Digital de Superfície
MDT	- Modelo Digital de Terreno
NASA	- National Aeronautics and Space Administration (Administração de Aeronáutica e Espaço dos EUA)
NIMA	- National Imaging and Mapping Agency (Agência de Mapeamento e Imageamento dos EUA)
PEC	- Padrão de Exatidão Cartográfica
RADAR	- Radio Detection and Ranging
RMSE	- Root Mean Square Error, também chamado RMS ou EMQ
SAR	- Synthetic Aperture Radar
SCN	- Sistema Cartográfico Nacional
SRTM	- Shuttle Radar Topography Mission
UTM	- Universal Transverso de Mercator (Projeção Cartográfica)
EQ	- Equação

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Em nações mais desenvolvidas, a bacia hidrográfica tem sido utilizada como unidade de planejamento e gerenciamento, uma vez que compatibiliza os diversos usos e interesses pela água, garantindo sua qualidade e quantidade. Esse planejamento possibilita aos gestores estabelecerem normas e regras para alcançar o desenvolvimento sustentável da bacia hidrográfica. Em algumas situações, o tempo que os gestores têm para tomar uma decisão para conter ou prevenir algum desastre ambiental é primordial (Guerra e Cunha, 1996).

Guerra e Cunha (2003) contemplam a necessidade de uma base de dados físicos para elaboração de estudos ambientais de bacias hidrográficas. Dentre estes dados destaca-se a morfometria, que pode ser caracterizada através de uma análise quantitativa do relevo, onde se observa a configuração espacial do conjunto das vertentes e drenagens. Trata-se de uma análise considerada essencial para se entender como quaisquer alterações na estrutura natural do relevo podem provocar os impactos indiretos, como: processos erosivos, processos de movimentos de massa, predições de inundações e assoreamentos. Também segundo Christoflettii (1980) tais informações são de utilidade em numerosas aplicações, como, por exemplo, na modelagem de fluxo hidráulico no transporte e na deposição de poluentes.

Anteriormente, os estudos morfométricos eram elaborados manualmente, o que tornava o processo moroso e mais suscetível a erros. Entretanto, com o avanço da plataforma do Sistema de Informação Geográfica (SIG), a análise morfométrica tornou-se acessível proporcionando aos gestores maior agilidade na geração e análise das informações necessárias para as tomadas de decisões em comparação aos métodos ou técnicas manuais.

No contexto da necessidade de correlação de diversas variáveis ambientais, o SIG mostra-se de grande valia na agilidade de geração de informações e na síntese dos dados, bem como na representação cartográfica das informações geradas. A facilidade em atualização de dados preexistentes em SIG possibilita que as informações sejam reavaliadas com muito

2mais agilidade que os métodos convencionais, permitindo por parte dos gestores uma tomada de decisão em tempo hábil. Assim, Moura (2000) aponta que:

Uma das principais contribuições metodológicas do geoprocessamento à pesquisa (...) é, certamente, a possibilidade de se implantar processos de análise que, quando trabalhados em termos conceituais, pareciam por demais complexos para serem adotados. Trata-se da possibilidade de adoção da abordagem e análise sistêmicas, conceitos que trouxeram para o estudo científico que lida com complexa gama de variáveis, em especial para as ciências espaciais, grande ganho na aproximação entre o modelo de estudo e a realidade (Moura, p. 49, 2000).

Dessa maneira, propõe-se que com a utilização do SIG seja realizada uma análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio São João, afluente da margem esquerda do rio Conceição pertencente à bacia do rio Doce. Esta bacia abrange áreas dos municípios de Barão de Cocais e Santa Bárbara no estado de Minas Gerais, totalizando uma área de drenagem de 181,41km². Encontra-se inserida na Serra do Gandarela, na região do Quadrilátero Ferrífero, ao sul da Serra do Espinhaço. Em termos geológicos, pertencente ao Supergrupo Rio das Velhas de idade arqueana e é composto basicamente por xistos e filitos e o Supergrupo Minas de idade paleoproterozóica, sendo formada por quartzitos e itabiritos. Sua geomorfologia é caracterizada pela presença de planícies fluviais pouco expressivas com a predominância de relevos ondulados à fortemente ondulados. Encontra-se localizada numa zona de transição entre os biomas de Mata Atlântica e Cerrado.

Salienta-se que a serra do Gandarela é considerada uma área de conflito de interesses entre ambientalistas e empresas minerárias. Os ambientalistas defendem a criação de um parque na Serra do Gandarela, devido sua riqueza biológica e por abrigar espécies da flora e fauna consideradas raras, endêmicas e/ou ameaçadas de extinção. Apesar de sua importância ambiental, a Gandarela vem sofrendo pressões causadas tanto pelas atividades minerárias quanto pelas agropecuárias. Dentre as atividades minerárias destaca-se a possível

instalação da Mina Apolo de propriedade da Vale, sendo caracterizado como um empreendimento de grande porte que visa à extração de minério de ferro, cuja área prevista para instalação afetará as cabeceiras do rio São João. As principais atividades agropecuárias encontradas na bacia são a pecuária leiteira e silvicultura de eucalipto que em grande parte são conduzidas de forma errada e acaba potencializando os processos erosivos na bacia.

A realização de atividades minerárias e/ou agropecuárias poderão causar alterações na dinâmica hídrica da bacia do rio São João, tornando-se importante a elaboração de uma análise morfométrica dessa bacia. Este estudo deverá auxiliar os administradores públicos dos municípios de Barão de Cocais e Santa Bárbara e gestores da bacia na restrição ao desenvolvimento de certas atividades e na indicação de locais para intervenções, visando à prevenção de catástrofes provenientes de intempéries climáticas a esses municípios, principalmente, a sede municipal de Barão de Cocais.

1.2 Objetivos

O objetivo geral desse estudo é construir e caracterizar morfométricamente a bacia hidrográfica do rio São João a partir da estimativa de parâmetros físicos que serão trabalhados através do SIG. As informações obtidas pelo resultado da análise morfométrica possibilitarão aos gestores municipais e da bacia uma maior compreensão da sua dinâmica e possibilidade de um planejamento contínuo visando evitar possíveis catástrofes.

Como objetivos específicos têm-se:

- Analisar morfométricamente a bacia hidrográfica levando em conta suas características zonais, lineares e hipsometrias;
- Analisar os padrões e distribuição espacial das formas de relevo da bacia hidrográfica;
- Verificar a eficiência das técnicas de geoprocessamento nesse tipo de abordagem morfométrica.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A evolução das formas de relevo, seus padrões, disposição no espaço e os fatores que controlam e potencializam a evolução são de suma importância para a compreensão da dinâmica de uma bacia hidrográfica. Para compreensão dessa dinâmica e do estudo proposto são apresentadas à seguir algumas fundamentações teóricas:

2.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural de água proveniente da precipitação pluvial, que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. É composta basicamente de um conjunto de superfícies, vertentes e de uma rede de drenagens formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2001). Há convergência de materiais dentro da bacia para um único ponto e deste para o exutório de outra bacia, num processo sucessivo. Torna-se de suma importância compreender a bacia hidrográfica como um sistema dinâmico e aberto, passivo de interferências antrópicas ou naturais que possam vir a comprometer sua dinâmica.

Ao analisar as complexas relações entre a sociedade e a natureza não podemos assumir uma posição determinista ou reducionista. Precisamos ter um quadro fiel da realidade, precisamos da compreensão tanto da totalidade como de aspectos pontuais para nossos diagnósticos de ação. Entender a bacia hidrográfica como um sistema dinâmico aberto, possibilita a análise de seus subsistemas tornando a análise morfométrica associada a outras ciências ambientais de grande valia na compreensão da dinâmica da bacia, uma vez que as mesmas podem apresentar formas, processos e evolução, em muitos casos de forma diferenciada.

Diversas políticas públicas nacionais relativas aos recursos hídricos têm adotado a bacia hidrográfica como sua unidade básica, mas as maiores das políticas implantadas não conseguiram atingir seu propósito de melhoria de “saúde” das bacias hidrográficas brasileiras.

A Lei Federal 9433, de 08 de Janeiro de 1997, instituiu no país a Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sob responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente, com o objetivo de implantar ações para melhoria das bacias brasileiras (SENRA, 2001). A lei propõe a articulação entre União e Estados tendo em vista o gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum. Da mesma forma, as leis específicas do Estado de Minas Gerais estabelecem que o Estado articular-se-á com a União, com outros Estados e com municípios com vistas ao aproveitamento, controle e monitoramento dos recursos hídricos, ou seja, visando ao gerenciamento dos recursos hídricos de interesse comum. Sob a perspectiva de uma análise sistêmica as ações de políticas públicas poderiam ser reorientadas.

2.2 Morfometria de Bacias Hidrográficas

No presente trabalho, a morfometria de bacias hidrográficas é entendida como uma análise quantitativa dos elementos resultantes do modelado do relevo (expressão e configuração espacial), sendo o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo.

As principais leis que embasaram os estudos morfométricos de bacias hidrográficas foram apresentadas por Horton (1945) e podem ser resumidas em:

- lei do número de canais - relação entre o número de canais de uma dada ordem (n) e o número de canais de ordem imediatamente superior ($n + 1$);
- lei do comprimento de canais - o comprimento médio dos canais de cada ordem forma uma progressão geométrica cujo primeiro termo é o comprimento médio dos segmentos de primeira ordem e tem por razão uma relação de comprimento constante;
- lei de declividade de canais - observa-se relação geometricamente inversa entre a declividade média dos canais de uma dada ordem e a dos canais de ordem imediatamente superior, na qual o primeiro termo é a declividade média dos canais de primeira ordem e a razão é a relação entre os gradientes dos canais;
- lei da área da bacia de canais - as áreas médias das bacias de segmentos de canais de ordem sucessivas tendem a formar uma progressão geométrica cujo

primeiro termo é a área média das bacias de primeira ordem e a razão de incremento constante é a taxa de crescimento de área.

A partir das leis de Horton (1945), outros trabalhos apresentaram parâmetros para entender e representar matematicamente a evolução e configuração de bacias hidrográficas, tais como Strahler (1952), Schumm (1956), Strahler (1957, 1958), Chorley (1962) e Chorley e Kennedy (1971).

Os parâmetros podem ser divididos em três classes: lineares (associados à rede de drenagem e seu arranjo espacial dentro da bacia), Zonais (associados à rede de drenagem e seu arranjo espacial em relação à área da bacia) e hipsométricos (associados a tridimensionalidade da bacia).

Inicialmente, para uma análise morfométrica de bacias hidrográficas, a obtenção dos parâmetros necessários eram extraídos de fontes analógicas (cartas topográficas e cálculo manual) e com o advento da computação a obtenção dos parâmetros necessários foi otimizado a partir do uso dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), rede hidrográfica digitalizada, ortofotos e imagens de sensores orbitais.

Novas metodologias e técnicas de mensuração de feições e fenômenos da superfície terrestre também permitiram diminuição no tempo para obtenção dos resultados e melhoria nas análises morfométricas.

Como exemplo de trabalhos encontrados na literatura sobre análises morfométricas em ambiente SIG, podemos citar: Satna Catarina (1997), Valeriano e Garcai (2000), Valeriano (2005), Ganas et. AL. (2005) e Hotl et. AL. (2007). Esses trabalhos legitimam o uso de parâmetros morfométricos na análise de bacias hidrográficas (parâmetros esses gerados por metodologias padronizadas), para verificação se essas estão próximas dos “padrões de normalidade” proposições de Horton Dietrich & Dunne (1993), Christofolletti (1980), Tsukamoto (1987), Montgomery e Dietrich (1992).

2.3 Modelos Digitais de Elevação

A representação numérica da topografia terrestre é um componente de grande importância para análises morfométricas. Nos estudos que tem como fonte dados primários, as grades retangulares de dados de elevação topográfica – os modelos digitais de elevação (MDEs) –

resultam da metodologia de geração, de avaliação e o tratamento estatístico aplicado a esses dados definem o grau de aproximação (ou distanciamento) que os resultados terão da realidade.

A Modelagem Digital de Elevação - MDE constitui uma representação da realidade por meio de hardware e software que comportam algoritmos contendo equações que possibilitam modelar variáveis ambientais. É uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre.

Ressaltamos abaixo a terminologia específica usada:

-MDT/DTM: terreno puro sem cobertura;

-MDS/DSM: superfície do terreno com cobertura;

-MDE/DEM ou MNT: qualquer variável espacial contínua.

Os MDE's são representados por malhas regulares ou triangulares de acordo com os algoritmos usados nas linguagens de cada software. Os dados são representados matematicamente pelas coordenadas xyz, onde z representa a variável a ser modelada, sendo $z = f(x,y)$. Os MDE,s possuem dois tipos de estrutura mais frequentemente usados: os elementos vetoriais e os elementos matriciais.

Dentre suas principais aplicações podemos citar:

- a visualização do terreno em três dimensões;
- a compartimentação topográfica;
- cálculos, simulações e previsão de impactos;
- prospecção de petróleo;
- simulação de fluxo e fluidos (identificação de regiões de risco).

2.4 Modelos Hidrológicos

Seu uso visa analisar o comportamento das bacias hidrográficas, suas redes de drenagem e processos relacionados.

Conforme descrito por Fonseca (2010) é possível, através de um MDE em formato matricial, a geração de modelos numéricos representativos da direção do escoamento superficial da água e, a partir destes, modelos de acumulação dos fluxos. Cabe destacar que, para a geração desses modelos, é necessário que seja feita a correção de possíveis áreas planas ou “depressões” decorrentes da interpolação numérica no momento da geração do MDE.

Através metodologia “D8” de Rosim & Pellegrino (2001), depois dos ajustes (correções) necessários no MDE, tem-se a aquisição da matriz de direção de fluxo de escoamento, baseado nas direções do escoamento para cada pixel da matriz. Neste caso, os algoritmos trabalham de maneira a atribuir o sentido de escoamento de um pixel para um de seus oito vizinhos, baseando-se no maior desnível do terreno (onde o valor de z é menor) dividido pela distância entre o pixel em questão e seus vizinhos. É aplicada uma máscara 3x3 em todo o MDE, onde cada pixel analisado é comparado com os seus oito pixel limítrofes. Depois de definido as direções do fluxo torna-se possível a geração das áreas de fluxo acumulado ao se processar as direções de fluxo estipuladas anteriormente. Neste caso, é somado o total de pixels, à montante, que drena para cada um dos pixels da matriz.

Uma vez determinada a rede de drenagem na matriz de fluxo acumulado, a delimitação da bacia acontece com a associação daquela à matriz de direção de fluxo. O algoritmo de delimitação automática de bacias analisa as áreas onde ocorrem valores iguais a zero de fluxo acumulado, bem como as respectivas direções de fluxo, para então traçar os limites das áreas de contribuição em relação a um ponto de exutório previamente identificado na matriz de fluxo acumulado. Desta forma, é possível marcar o ponto de foz de cada ordem fluvial e gerar as respectivas áreas drenadas (FONSECA 2010).

2.5 O Índice de Hack

O índice de Hack (stream Length – Gradient Index) foi concebido por John T. Hack em 1973. Ele trabalhou com perfis longitudinais de rios em escala semilogarítima (altimetria,

eixo Y é apresentada em escala aritmética e a distância eixo X em escala logarítmica). Hack observou a partir de evidências empíricas que, o valor do produto SL está diretamente relacionado à competência de um rio. Ele enuncia que os rios de uma bacia possuem, em média, a seguinte relação entre a declividade do canal (S), o comprimento do mesmo (L) e o tamanho médio das partículas formadoras da carga de leito conforme Equação 2.1.

$$S = 25 \frac{M^{0,6}}{L} \quad (\text{EQ 2.1})$$

Assumindo que a competência de um rio seja diretamente relacionada com a energia do mesmo, deve-se assumir que a descarga é proporcional ao comprimento do rio. Trabalhos empíricos de Leopold et. al. (1964) indicam direção semelhante conforme as equações 2.2 e 2.3.

$$L \propto A^{0,6} \quad (\text{EQ 2.2})$$

$$Q \propto A^{0,75} \quad (\text{EQ 2.3})$$

Onde A é a área de drenagem e Q é a descarga do rio.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo engloba a bacia hidrográfica do rio São João, afluente da margem esquerda do rio Conceição pertencente à bacia do rio Doce, totalizando uma área de drenagem de 181,41km². Localiza-se ao sul da Serra do Espinhaço, na região do Quadrilátero Ferrífero, a nordeste da Serra da Gandarela, ocupando parte dos municípios de Barão de Cocais e Santa Bárbara no estado de Minas Gerais (Figura 3.1).

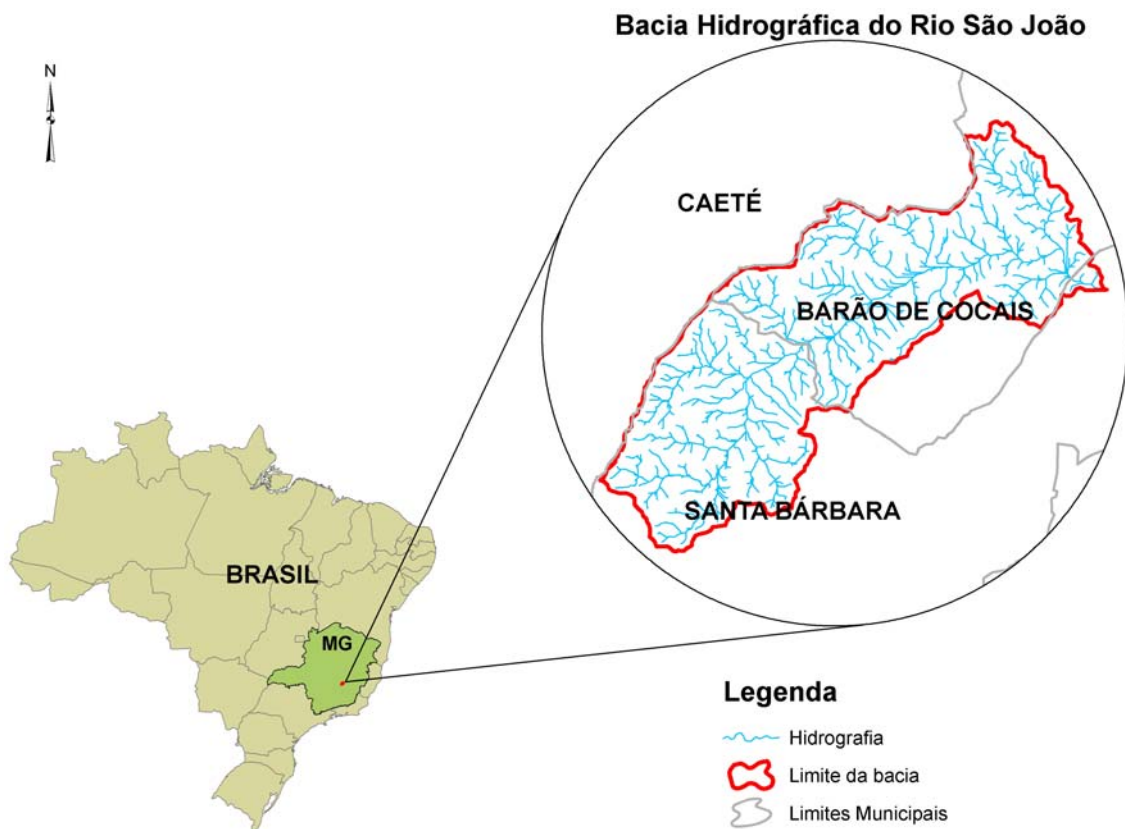


Figura. 3.1: Localização da área de estudo.

A bacia é pertencente a dois Supergrupos, o do Rio das Velhas de idade arqueana, sendo composto basicamente por xistos e filitos e o Supergrupo Minas de idade paleoproterozóica, composto basicamente por quartzitos e itabiritos (Figura. 3.2).

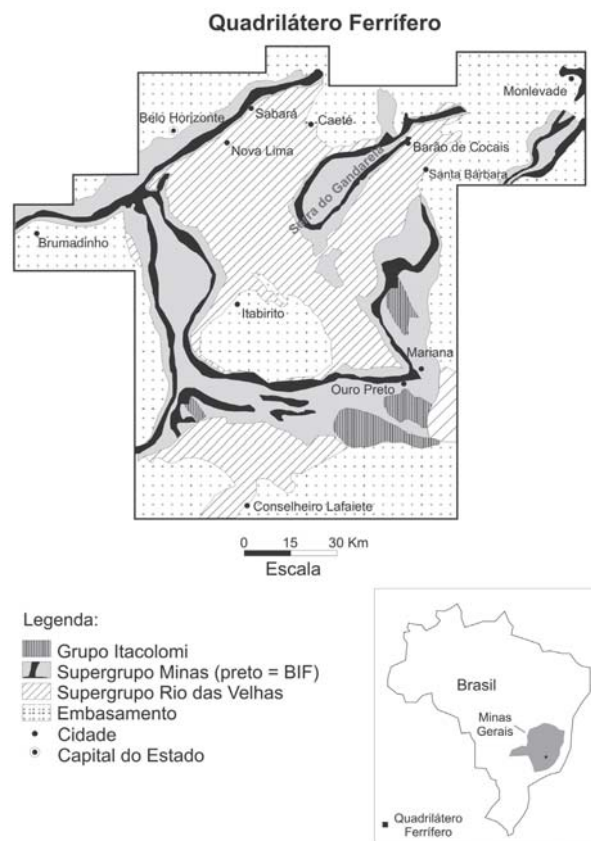


Figura. 3.2: Localização das estruturas geológicas da região de estudo
Fonte: IEF/UFV, 2006.

Com relação à geomorfologia, este intricado arcabouço geológico proporcionou uma rica diversidade de formas, tanto pela condição estrutural quanto pela litológica. Esse controle litoestrutural é observado nos relevos dobrados, onde ocorrem sinclinais suspensas, anticlinais erodidas e inúmeras cristas (SOUZA *et al.*, 2005; BARBOSA & RODRIGUES, 1967). Os quartzitos e itabiritos encontram-se nas terras altas, compondo os topos de cristas e serras. Os xistos e filitos nas porções intermediárias do relevo compondo o interior das anticlinais e sinclinais invertidos.

O clima da região é do tipo tropical de altitude e possui duas estações climáticas bem definidas que podem ser identificadas como sendo uma seca e outra chuvosa. Os verões são quentes e úmidos e a estação seca é bem definida, sendo os meses de outubro a abril úmidos, e os de maio a setembro relativamente secos.

A estação seca é observada no outono e no inverno. No inverno predomina a atuação da Frente Polar Atlântica - FPA e do anticiclone subtropical do Atlântico Sul. Este atua com circulação continental antes do sistema frontal atingir o Estado, causando forte estabilidade

atmosférica. Após a passagem dos sistemas frontais, a massa de ar predominante do sul do continente avança até o centro do Estado, provocando queda de temperatura.

A estação chuvosa é observada na primavera e no verão, quando o anticiclone subtropical do Atlântico Sul atua predominantemente sobre o oceano. As regiões leste, nordeste e sudeste do Estado de Minas sofrem forte influência de sistemas convectivos associados ao aquecimento continental.

A área da bacia insere-se dentro dos limites legais do “bioma Mata Atlântica”, definidos no artigo 2º da Lei Federal nº 11428/2006. Entretanto trata-se da área limite do Bioma, onde ocorre a transição com o Bioma Cerrado¹, de acordo com o mapa do IBGE (2004), limitando-se com a Ecorregião São Francisco-Velhas.

Estudos faunísticos, realizados a montante da área, em um local conhecido como Mata da Gandarela, citam a existência de diversos tipos de animais, desde invertebrados como vespas, borboletas e gafanhotos, a mamíferos, alguns deles até mesmo ameaçados de extinção, como por exemplo: onças pintadas e pardas, lobos-guará, jaguatirica, anta, dentre outros. Estes fatores reforçam a importância do valor ecológico da região.

Salienta-se que a serra do Gandarela é considerada uma área de conflito de interesses entre ambientalistas e empresas minerárias. Os ambientalistas defendem a criação de um parque na Serra do Gandarela, devido sua riqueza biológica por abrigar espécies da flora e fauna consideradas raras, endêmicas e/ou ameaçadas de extinção. Apesar de sua importância ambiental, a Gandarela vem sofrendo pressões causadas tanto pelas atividades minerárias quanto pelas agropecuárias. As principais atividades agropecuárias encontradas na bacia é a pecuária leiteira e silvicultura de eucalipto e na expansão destas atividades, a remoção da cobertura vegetal é uma das conseqüências mais clássicas, intensificando e potencializando os focos ou processos erosivos na área de estudo.

3.2 Base Cartográfica

A seguir são apresentadas as informações e as fontes utilizadas para preparação da base cartográfica deste estudo:

- As drenagens utilizadas como referência do nível de base foram extraídas das cartas topográficas Acuruí e Caeté na escala 1:50.000 e Itabira 1:100.000 (IBGE, 1977), digitalizadas pelo Projeto Geominas (1998). Articulação das cartas topográficas utilizadas são apresentadas na Figura 3.3.

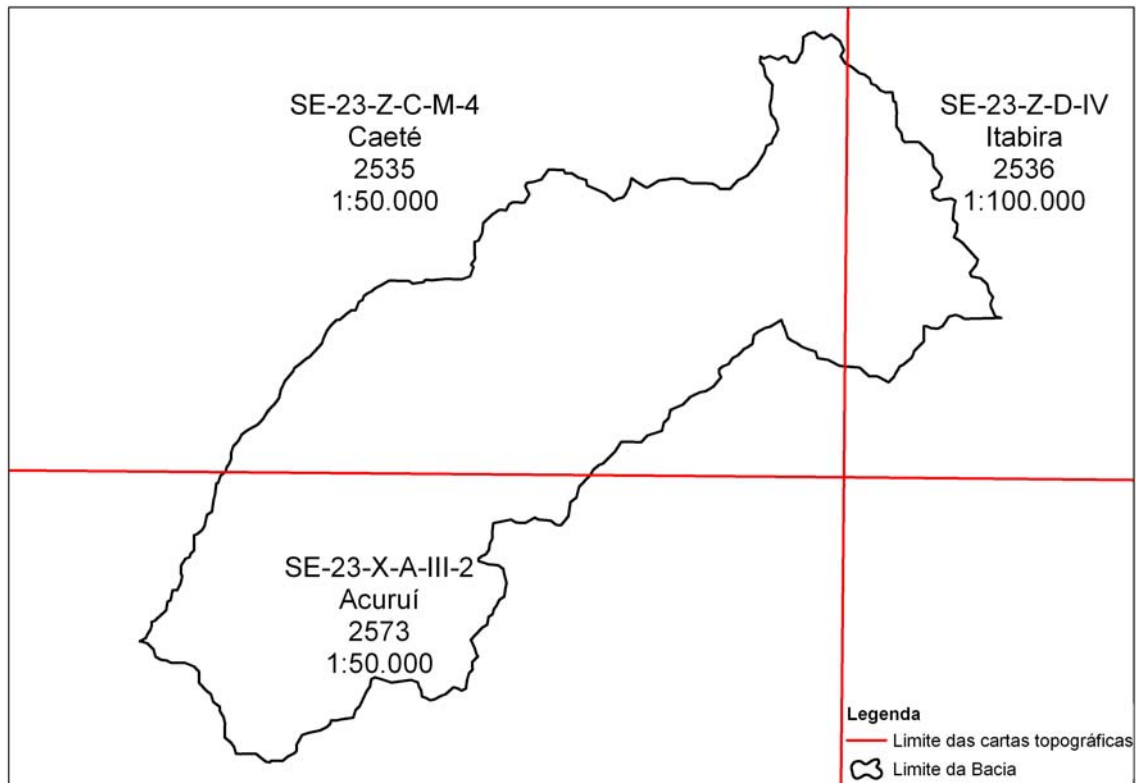


Figura 3.3 - Articulação das cartas topográficas, para a área pesquisada, de acordo com o índice do mapeamento sistemático brasileiro.

- A imagem satélite utilizada neste trabalho foi a ASTER GDEM5 (ERSDAC, 2009), com resolução espacial de 30 metros.

O material citado acima foi tratado através do Software ArcGIS 9.3.1, onde gerou-se um mosaico de imagens ASTER (ERSDAC, 2009), cujas imperfeições foram corrigidas com o uso da ferramenta “*space analysis*”. Utilizando novamente essa mesma ferramenta foi gerado o MDE e também com o uso da ferramenta “*hydrology modeling*” e com base nas drenagens (IBGE, 1977) foi gerada a rede hidrologica da bacia do rio São João.

3.3 Modelo Digital de Elevação

Para o presente trabalho, o modelo digital de elevação (MDE) foi gerado por grades retangulares matriciais, nas quais para cada pixel tem-se um valor numérico associado à elevação correspondente. O MDE gerado permitiu uma representação fidedigna das feições do relevo, como divisores de bacia e talwegues proporcionando alcançar a consistência hidrológica necessária para a escala do trabalho.

3.4 Análises Morfométricas

As análises morfométricas realizadas no presente estudo são descritas à seguir:

- Análise Zonal – trata dos atributos da rede de drenagem e das áreas não hidrográficas do relevo (encostas e topos), os índices analisados são: área e perímetro da bacia hidrográfica, compacidade, fator de forma, índice de circularidade e densidade de drenagem.

Compacidade é dado pela Equação 3.4.

$$CC = \frac{0,2821P}{A^{0,5}} \quad \text{e/ou} \quad Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{EQ 3.4})$$

Fator de forma é dado pela Equação 3.5.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (\text{EQ 3.5})$$

Índice de Circularidade é dado pela Equação 3.6.

$$IC = \frac{12,57A}{P^2} \quad \text{e/ou} \quad IC = \frac{12,57 * A}{P^2} \quad (\text{EQ 3.6})$$

Densidade de drenagem fornecida pela Equação 3.7.

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (\text{EQ 3.7})$$

-Análise Linear – aborda unicamente os atributos da rede de drenagem, os parâmetros analisados são comprimento, número, hierarquia.

-Análise hipsométrica – trata do relevo, além de correlacioná-lo a rede de drenagem e a bacia hidrográfica, os parâmetros analisados são altitude e declividade.

Para a classificação da declividade utilizou-se os critérios estabelecidos pela Embrapa (1979), ver tabela 3.1.

Tabela 3.1 Classificação da declividade segundo Embrapa (1979)

Declividade (%)	Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suave ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Fortemente ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Fortemente montanhoso

3.5 Análises Estatísticas Espaciais

As análises estatísticas espaciais realizadas para esse estudo são apresentadas à seguir:

- Índice de Hack é calculado a partir de um mapa topográfico, sua definição matemática é dada pela Equação 3.9.

$$SL = \frac{\Delta H}{\log_{\epsilon} Ly - \log_{\epsilon} Lx} \quad (\text{EQ 3.8})$$

Através dos valores obtidos com o Índice de Hack com intuito de “extrapolar” as informações e ajustar as funções a pontos não amostrados utilizou-se:

- Interpolador IDW admite que as informações pontuais sejam ponderadas durante o processo de interpolação, de modo que um determinado dado pontual possuirá menos influência sobre outro à medida que a distância entre eles aumenta (Davis 1986). O IDW foi adotado com o objetivo de identificar zonas drenadas por cursos de água com o mesmo vigor energético;

- Diagrama de Voronoi. Seu modelo é formado por polígonos irregulares, sendo que existe um polígono para cada amostra da variável a ser modelada. Esse modelo determina a área de influência de cada amostra pela distância.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação dos métodos abordados nos tópicos do capítulo 3, acompanhados das discussões e análises relativas ao trabalho. Essas análises e discussões de resultados irão fornecer as bases para diversas inferências e consolidação das conclusões do trabalho.

4.1. Comparação topológica das bases cartográficas referentes à rede de drenagem

Ao analisar a consistência morfológica da rede de drenagem na área da bacia do rio São João, em alguns locais observou-se que a hidrografia digitalizada pelo Geominas (1998) não apresentou coerência com o relevo e já a drenagem restituída automaticamente apresentou maior consistência em sua representatividade conforme demonstra a Figura 4.1.

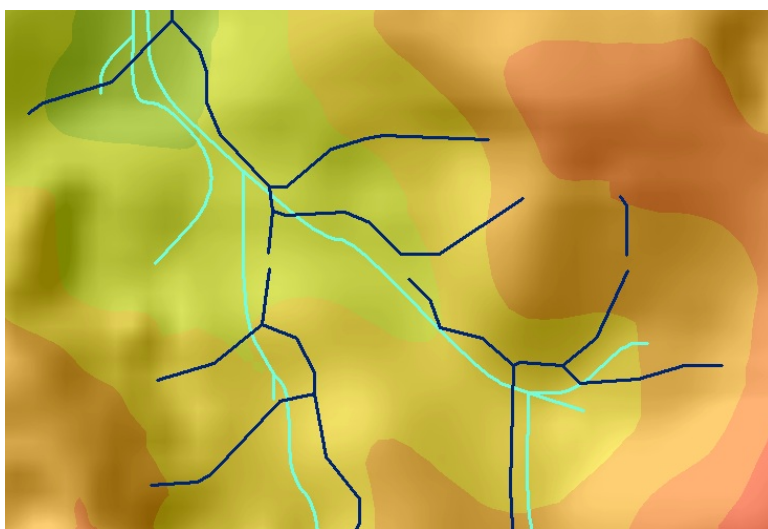


Figura. 4.1: Figura comparativa das redes de drenagem

4.2. Resultados das Análises Morfométricas

As análises de resultados deste trabalho utilizou como referência o estudo realizado por CARDOSO et. al. (2006) devido à similaridade das áreas de estudo.

Na Tabela 4.1, mostram-se os resultados da caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio São João.

Tabela 4.1: Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio São João

Características Físicas	Resultados
Área de drenagem (Km ²)	181,41
Perímetro (km)	82,64
Coefficiente de compacidade (kc)	1,72
Fator de forma (F)	0,20
Índice de circularidade (IC)	0,33
Declividade máxima (%)	208
Declividade média (%)	25
Declividade mínima (%)	0
Altitude máxima (m)	1615
Altitude média (m)	1037
Altitude mínima (m)	746
Ordem da bacia	5
Densidade de drenagem (km/km ²)	2,07

Análise Zonal

A área de drenagem encontrada na bacia foi de 181,41 km² e seu perímetro de 82,64 km. De acordo com os resultados, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica do rio São João mostra-se pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, ou seja, excluindo-se eventos de intensidades anormais, pelo fato de o coeficiente de compacidade apresentar o valor afastado da unidade (1,72) e, quanto ao seu fator de forma, exibir um valor baixo (0,20). Assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada. Tal fato pode ainda ser comprovado pelo índice de circularidade, possuindo um valor de 0,33.

Salienta-se que bacias com forma circular, apresentam maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal. Como exemplo de bacias com forma circular é possível citar o estudo realizado em Teixeira de Freitas, BA, constatou-se que em uma bacia com área igual a 0,589 km², 67,3% ocupada por floresta, e outra com área de 0,257 km², com ocupação de 100% de pastagem, foram encontrados índices de circularidade de 2,96 e 2,01, respectivamente. Observou-se que picos de vazão com aumento da precipitação

proporcionaram a saída rápida da água dessas bacias logo após a precipitação (AZEVEDO, 1995).

A densidade de drenagem encontrada na bacia hidrográfica do rio São João foi de 2,07 km/km². De acordo com Villela e Mattos (1975), esse índice pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km², ou mais, em bacias bem drenadas, indicando, assim, que a bacia em estudo possui média capacidade de drenagem.

Ao comparar a densidade de drenagem da bacia do rio São João com outros trabalhos, verifica-se que: O índice de densidade de drenagem encontrado na bacia hidrográfica do rio Turvo Sujo, em MG, foi de 4,6 km/km², mostrando que a mesma apresenta elevada capacidade de drenagem (SANTOS, 2001). A bacia hidrográfica do rio Juatuba, MG, obteve valores de densidade de drenagem para bacias de áreas equivalentes a 5,2 km², 80,2 km² e 265,0 km², iguais a 1,63; 1,50; e 1,91, respectivamente. Assim, de acordo com esse autor, essas bacias poderiam ser enquadradas como medianamente drenadas (EUCLYDES, 1992).

É importante ressaltar que a densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Esses valores ajudam substancialmente o planejamento do manejo da bacia hidrográfica.

Análise Linear

O sistema de drenagem da bacia do rio São João, de acordo com a hierarquia de Strahler (1957) e escala 1:50.000, possui ramificação de quinta ordem. Isso indica que o sistema de drenagem da bacia é pouco ramificado, já que possui grande área, ver Figura 4.2.

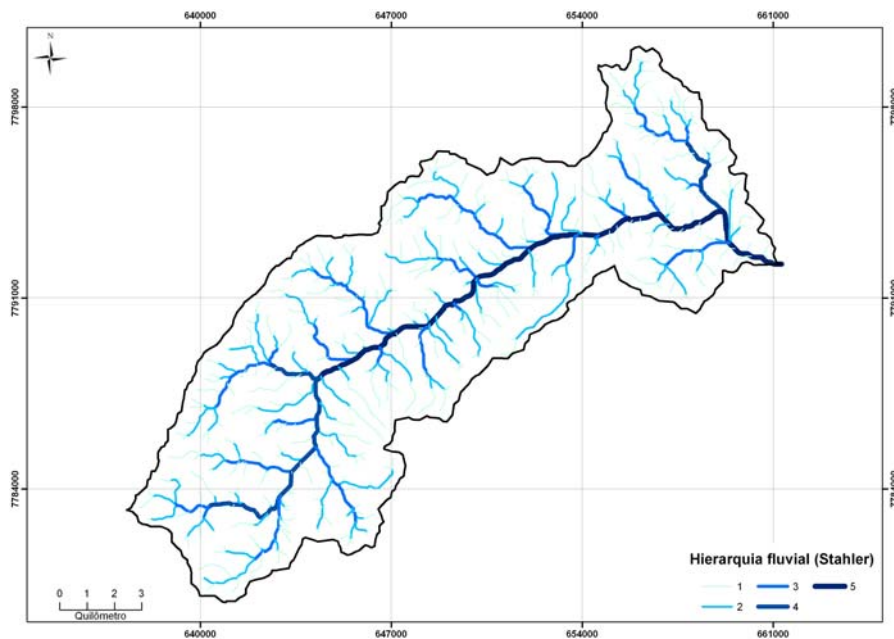


Figura. 4.2: Ordenamento da bacia hidrográfica do rio São João, conforme metodologia de Strahler (1957).

Análise hipsométrica

Declividade

As amplitudes de declividade distinguem-se em máxima com 208%, média de 25% e a mínima com 0% conforme demonstrado na tabela 4.1. Na Tabela 4.2 apresentam-se às informações quantitativas associadas à declividade da bacia hidrográfica do rio São João e na Figura 4.3 é apresentada a distribuição espacial das classes de declividade.

Tabela 4.2: Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio São João

Declividade (%)	Relevo	Área (km²)	%
0 – 3	Plano	1,90	1,05%
3 – 8	Suave ondulado	11,26	6,21%
8 – 20	Ondulado	59,53	32,82%
20 – 45	Fortemente ondulado	91,53	50,47%
45 – 75	Montanhoso	15,67	8,64%
> 75	Fortemente montanhoso	1,47	0,81%

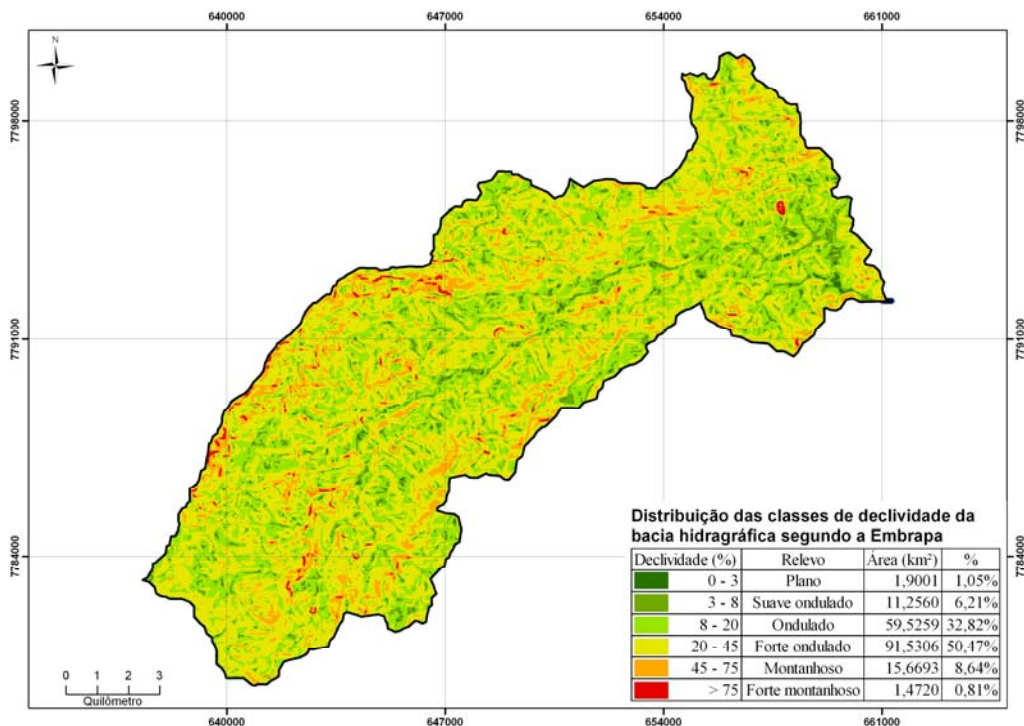


Figura 4.3: Distribuição das classes de declividades segundo a Embrapa.

Observa-se, que a maior parte do relevo corresponde a forte ondulado, com 50,47%. A declividade influencia a relação entre a precipitação e o deflúvio da bacia hidrográfica, sobretudo devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial, reduzindo a possibilidade da infiltração de água no solo. Esta relação de capacidade de infiltração com declividade sofre interferência direta dependendo do tipo de cobertura vegetal existente na área de estudo.

Altitude

De acordo com Castro Jr. (2001), em altitudes elevadas, a temperatura é baixa, e apenas pequena quantidade de energia é utilizada para evaporar a água, ao passo que, em altitudes baixas, quase toda a energia absorvida é usada para evaporação da água. As altitudes elevadas tendem a receber maior quantidade de precipitação, além de a perda de água ser menor. Nessas regiões, a precipitação normalmente excede a evapotranspiração, ocasionando um suprimento de água que mantém o abastecimento regular dos aquíferos responsáveis pelas nascentes dos cursos d'água.

A bacia hidrográfica do rio São João apresenta uma altitude máxima de 1.615, média de 1035 e mínima com 746 metros. Na Figura 4.4, verifica-se a distribuição da área de drenagem nas faixas altimétricas.

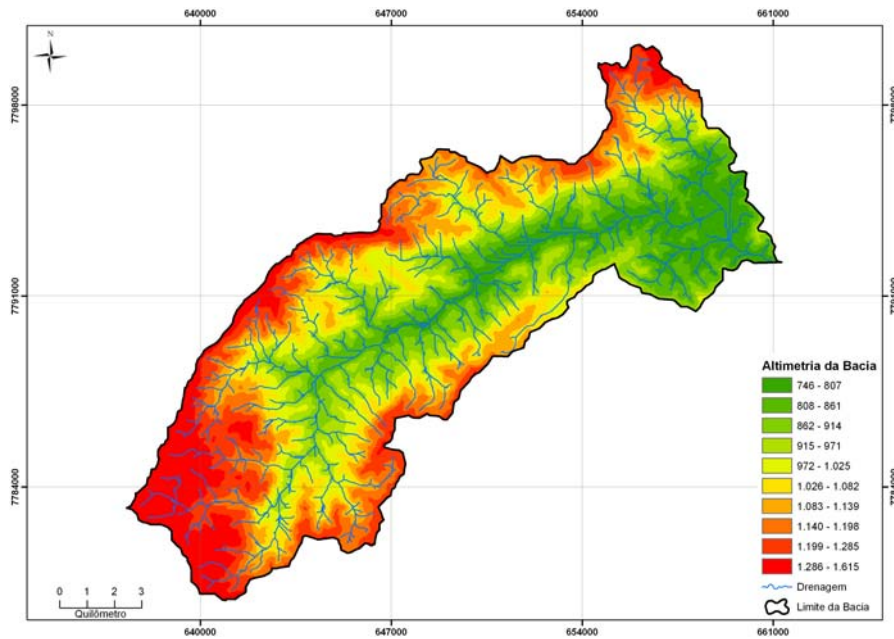


Figura 4.4: Distribuição da altitude de acordo com a área

4.3 Resultados das Análises Estatísticas Espaciais

A espacialização do índice de Hack visa:

- detectar alterações nos cursos de água decorrentes de atividades tectônicas ou mudanças no substrato geológico;
- melhorar a observação da dinâmica energética de uma bacia hidrográfica.

Através das curvas de isoladores do índice de Hack é possível analisar as anomalias na rede de drenagem de um rio auxiliando na tomada de decisão e permitindo a extrapolação das informações processadas de uma determinada área para outras áreas além dos pontos estudados.

Na Figura 4.5 é apresentada a distribuição espacial dos valores calculados para o Índice de Hack na bacia hidrográfica do rio São João.

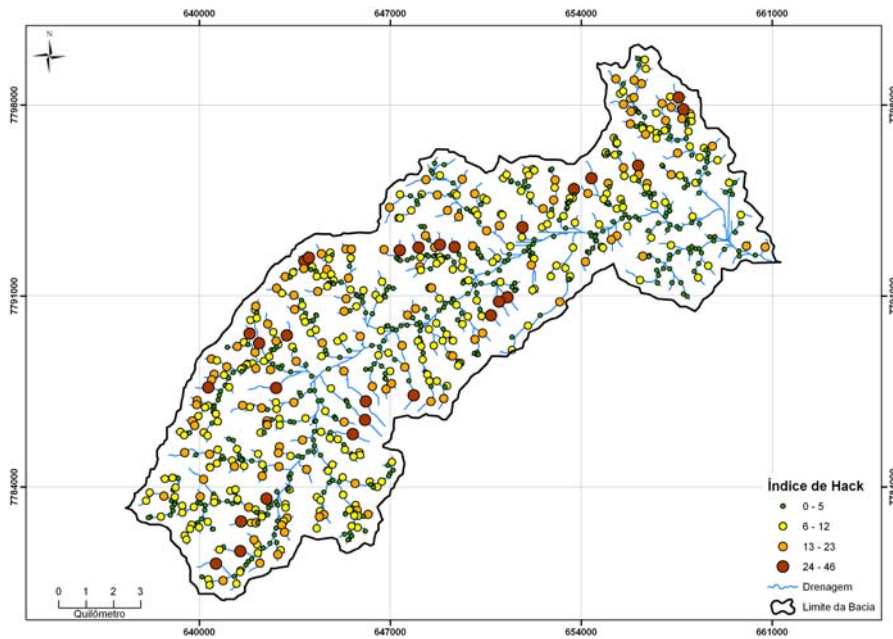


Figura. 4.5: Distribuição espacial dos valores calculados para o Índice de Hack
 Foram observados altos valores do índice de Hack que indicam canais de drenagem de grande vigor energético.

Dois interpoladores geoestatísticos, o IDW e o diagrama de Voronoi, foram utilizados na estimação da informação para a bacia hidrográfica do rio São João. A distribuição espacial desses dados são apresentadas nas Figuras 4.6 e 4.7.

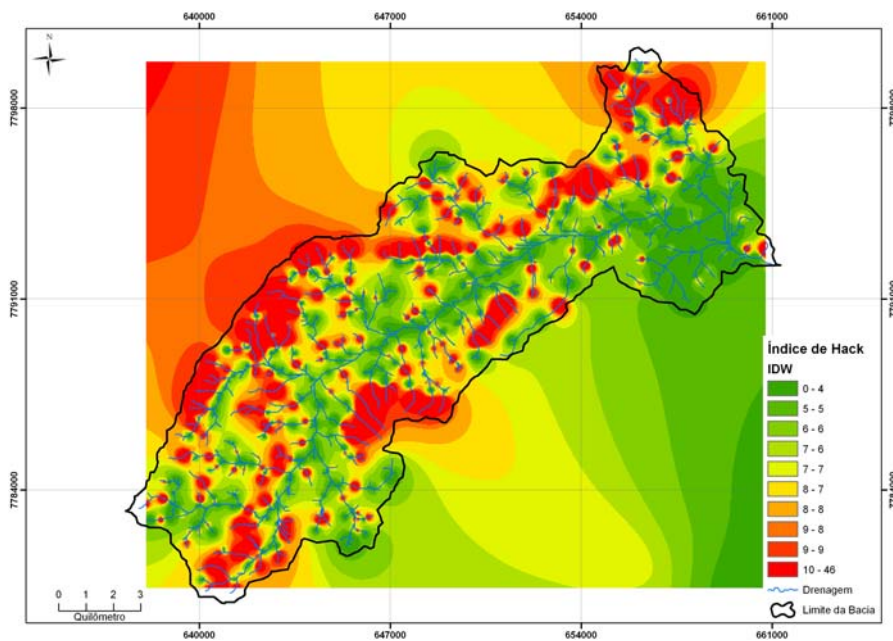


Figura. 4.6: Distribuição espacial do índice de Hack através do interpolador IDW

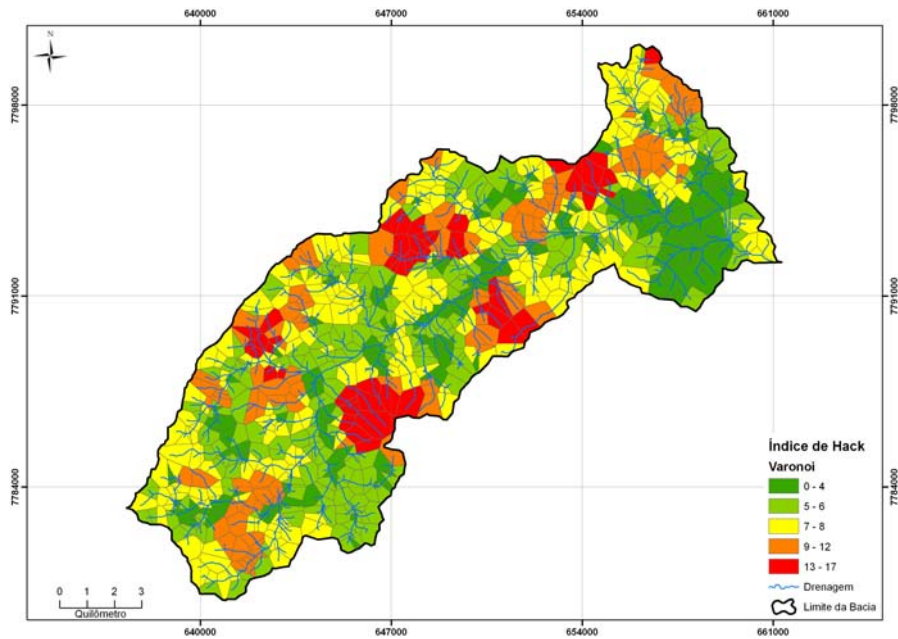


Figura. 4.7: Distribuição espacial do índice de Hack através do Diagrama de Voronoi.

Os valores da superfície obtida através do interpolador IDW foram calculados sobre os valores reais do índice de Hack, enquanto o interpolador abrupto (Voronoi) foi aplicado sobre a média dos valores do parâmetro analisado. Os dois interpoladores representaram satisfatoriamente o parâmetro analisado, sendo que o diagrama de Voronoi individualizou um maior número de áreas de influência do índice de Hack na bacia do rio São João.

Ao permitir a delimitação exata de áreas de influência dos valores do índice, o interpolador abrupto de Voronoi favorece a otimização das investigações de campo, deixando-as mais específicas, uma vez que o pesquisador pode optar por investigar somente áreas de influência onde a rede de drenagem possui maior vigor energético.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Um dos desafios básicos da análise hidrológica é a caracterização morfométrica das bacias hidrográficas e da rede de drenagem associada. Tal informação é de utilidade em numerosas aplicações, tais como na modelagem dos fluxos hidráulicos, o transporte e deposição de poluentes e na predição de inundações (Wang & Yin, 1998; Thierfelder, 1998; Ceballos & Schnbel, 1998). O SIG comprovou ser de grande valia na manipulação das informações necessárias para uma análise morfométrica. E um diferencial deste trabalho foi à automatização de todas as etapas para geração dos índices, em especial a do “índice de Hack” que otimizou o tempo gasto quando comparado com as técnicas utilizadas em outros trabalhos analisados.

Os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio São João indicam que em situações ambientais normais não há probabilidade de inundação, fato este comprovado pela ausência histórica de enchentes na sede municipal de Barão de Cocais localizada próximo ao exutório da bacia.

No presente trabalho foi realizada uma caracterização do relevo de cunho regional, através da classificação da declividade proposta pela Embrapa (1979) que demonstrou a predominância do relevo fortemente ondulado onde o uso tende a ser mais restritivo.

Os resultados apresentados pelo índice de Hack indicam que a rede de drenagem do rio São João possui maior vigor energético nas cabeceiras da bacia. Local este onde estão localizadas as principais nascentes da área de estudo. O alto vigor energético da bacia do rio São João implica em uma maior capacidade de entalhamento do relevo e capacidade de transporte de sedimentos. Nestas áreas de alto vigor energéticos indicado pelo índice de Hack estão associadas à falta ou espécies inadequadas de vegetação potencializam os processos erosivos.

Não foi empreendida pesquisa de campo para comprovação dos dados, tendo em vista que a proposta era a de se utilizar do geoprocessamento para análises prévias e otimização de trabalhos de campo, mas quando correlacionamos os dados gerados com bases analógicas preexistentes é possível afirmar que as informações são coerentes.

Sendo assim, as informações reunidas nesta monografia, resultaram em produtos que podem auxiliar novas pesquisas na bacia hidrográfica do rio São João, orientar a gestão e ordenamento territorial, bem como subsidiar estudos ambientais no que diz respeito à utilização de recursos hídricos na bacia hidrográfica.

Por fim, considerando os resultados alcançados, pode-se assumir que as técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG favoreceram a sistematização, agilidade no cálculo dos parâmetros morfométricos, bem como o ganho de informação ao otimizar a comparação dos distintos parâmetros morfométricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. A. de. **Análise Geomorfológica: Reflexão e Aplicação – Uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do Planalto de Diamantina.** (TESE). 325 p. USP. São Paulo.1982.
- ALMEIDA ABREU,P.A.. **A evolução geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil** . Tese Dout., Univ. Freiburg, 1993. 150 pp.
- CASSETI, Valter. **Elementos de Geomorfologia.** São Paulo, Contexto, 2001. 85
- CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais.** Curitiba: Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, 2003. 210 p.
- CHEREM, L. F. **Análise morfométrica da bacia do Alto Rio das Velhas - MG.** 2008. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Ambientais. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais - IGC/UFMG, 111 p. Belo Horizonte, 2008.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas.** 1970. 215p. Tese (Livre Docência). Faculdade de Filosofia, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1970
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1999, 186p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia - Introdução.** São Paulo: Ed. Hucitec, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1980, 186p.
- COTTON, C.A. Tectonic landscapes. In: Fairbridge (Coord.): **Encyclopedia of geomorphology**, New York, 1968, pp. 1109-1116.
- ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do rio do Peixe, Região Ocidental Paulista, mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. *Revista UNESP – Geociências*, v.25, n. 3, p.271-287, 2006.
- ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; PERINOTTO, J.A.J.; FULFARO, V.J. Aplicação do Índice "Relação Declividade-Extensão - RDE" na Bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas, *Revista do Instituto de Geociências da USP - Série Científica*, v.4, n.2, p. 43-56, 2004.
- EVANS. I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. 18-90, 1972. in: CHORLEY, R.J. **Spatial Analysis in Geomorphology.** London, British Geomorphological Research Group, 1972. 391 p.
- FONSECA, B.M.; MOURA, A.C.M.; CARVALHO, G.A.; DINIZ, V. A difusão de novas tecnologias de mensuração e dados do relevo como apoio ao ensino da representação

topográfica, In **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, 2007 p. 1473-1479.

FONSECA, B. M. **O uso dos Sistemas de Informações Geográficas na Análise Morfométrica e Morfológica de Bacias de Drenagem na Serra do Espinhaço Meridional-MG**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

HACK, J. T., 1957, Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland: **U.S. Geol. Survey Prof. Paper** 294-B, p. 45-97 [1958].

HACK, J. T. and Young, R. S., 1959, Intrenched meanders of the North Fork of the Shenandoah River, Virginia: **U.S. Geol. Survey Prof. Paper** 354-A, 10 p.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. **Journal of Research of the United States Geological Survey**, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America Bull.** n.56. 1945.

MONTGOMERY, D.R, DIETRICH, W.E. 1989. Source areas, drainage density, and channel initiation. **Journal of the American Water Resources Association.** 25. New York, 1989

ROSIM, S. **Definição de Redes de Drenagem utilizando Modelagem Numérica de Terrenos**. Dissertação de Mestrado do Curso de Engenharia Eletrônica e Computação. Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA. São Paulo, 1999. 91

SAADI, A., VALADÃO, R.C. O cenozóico da porção mediana-central do Espinhaço Meridional, primeira síntese. In: CONG. DA ABEQUA, 1, Porto Alegre-RS, 1987. **Anais...**, ABEQUA/UFRGS, 1987a. p. 393-407.

SAADI, A., VALADÃO, R.C. Evolução geomorfológica quaternária da região de Gouveia, Serra do Espinhaço. In: SIMP. GEOL. MG, 4, Belo Horizonte-MG, 1987. **Anais...**, SBG/MG, 1987. Bol. SBG-MG, 1987b. (7):434-448.

SAADI, A. A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e suas margens. **Geonomos, Revista de Geociências**, 1995. 3(1):41-63.

SAADI, A. Modelos Morfogenéticos e Tectônica Global: Reflexões Conciliatórias. **Geonomos, Revista de Geociências**, 1998. 6(1):55-63

SAADI, A. A Geomorfologia como Ciência de Apoio ao Planejamento Urbano em Minas Gerais. **Geonomos, Revista de Geociências**, 1998. 6(1): 55-63

TARBOTON, D. G., R. L. Bras, I. Rodriguez-Iturbe. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data, **Hydrological Processes**. 1991. Vol. 5, pp. 81-100.

TSUKAMOTO, Y., MINEMATSU, H. Hydrogeomorphological characteristics of a zero-order basin. Erosion and Sedimentation in the Pacific Rim. Proceedings of the Corvallis Symposium. **IAHS Publ.** n.165. 1987.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environments.** 1979. 8:127-150.

YAMAMOTO, J. K. A Review of numerical methods for the interpolation of geological data. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** v. 70, n. 1, p. 91-116, 1998.