



ARTICLES/ARTIGOS/ARTÍCULOS/ARTICLES

**Análise ambiental da bacia do rio Castelo (ES), com
ênfase no problema das inundações**

Laís de Carvalho Faria Lima Lopes

Mestranda em Engenharia Geotécnica, Universidade Federal de Ouro Preto, *Campus* Morro do
Cruzeiro S/N, Ouro Preto – MG CEP 35.400-000. **E-mail:** laisclopes@yahoo.com.br

Doutor Cláudio Eduardo Lana

Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário S/N, Alegre
– ES, CP 16, CEP 29.500-000. **E-mail:** claudio.lana@ufes.br

ARTICLE HISTORY

Received: 18 July 2012

Accepted: 22 December 2012

PALAVRAS-CHAVE:

Inundação

Escoamento superficial

Castelo

RESUMO

O município de Castelo, situado no sul do estado do Espírito Santo, se desenvolveu na planície de inundação do rio Castelo, em seu baixo curso. Esta condição coloca a zona urbana do município em situação de risco, em relação às inundações. Por esta razão, o presente trabalho analisa e discute as razões para a ocorrência dos fenômenos de inundação, com base na análise dos diversos usos dos solos e suas taxas de declividade, com o objetivo de compreender os possíveis efeitos dessas variáveis. A identificação das possíveis causas da ocorrência de inundações nas áreas antropicamente ocupadas teve como base os mapas gerados pelo SIG (Sistema de Informações Geográficas), os parâmetros morfométricos e os lineamentos morfoestruturais que foram essenciais para o entendimento da dinâmica da bacia. Investigações como esta podem auxiliar às prefeituras dos municípios envolvidos uma vez que criticam certos procedimentos metodológicos comuns à problemática das inundações, sugerindo abordagens em escala de maior detalhe, evitando o mau uso do espaço físico futuramente.

KEY-WORDS:

Flood
Runoff
Castelo

ABSTRACT – ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF CASTELO RIVER WATERSHED (ES), WITH EMPHASIS ON THE FLOOD PROBLEM. The city of Castelo, located in the southern Espírito Santo state, has grown in the floodplain of the downstream Castelo River. Due to the flat morphological condition, the urban area is in a continuous risk of flood the reasons to the occurrence of flood phenomena are analysed herein, based on the distinction of several soil uses classes and their respective slopes, which provided the understanding of the possible effects of these parameters over the nature of floods. GIS techniques were used to provide some thematic maps which allowed the identification of probably causes of flood in anthropically occupied areas., the analysis of morphometrics parameters and morphostructural lineaments were also essential to the understanding of the flood dynamics. This work shows that simple GIS methodological procedures, supported by field trips, represent a valuable approaches in order to guide the future use of urban spaces.

RESUMEN:

Inundaciones
Escorrentía
Castelo

RESUMEN – ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA CUENCA DEL RÍO CASTELO (ES), CON ÉNFASIS EN EL PROBLEMA DE LAS INUNDACIONES. La ciudad de Castelo, situado en el sur del estado de Espírito Santo, desarrolla en la llanura de inundación del Río Castelo, en su curso inferior. Esta condición pone a la zona urbana en situación de riesgo en relación a las inundaciones. Por esta razón, este trabajo se analizan y discuten las razones de la ocurrencia del fenómeno de las inundaciones, con base en el análisis de los distintos usos del suelo y sus tasas de pendiente, con el fin de entender los posibles efectos de estas variables. La identificación de las posibles causas de la ocurrencia de inundaciones en las zonas ocupadas antrópicamente se basa en mapas generados por el SIG (Sistema de Información Geográfica), los parámetros morfométricos y lineamientos morfoestructurales que eran esenciales para la comprensión de la dinámica de la cuenca. Investigaciones como esta pueden ayudar a los gobiernos locales de los municipios involucrados ya criticar a ciertos procedimientos metodológicos comunes a los problemas de inundaciones, lo que sugiere enfoques a escala más detallada, evitando el mal uso del espacio físico en el futuro.

Introdução

O crescimento populacional de áreas urbanas no Brasil tem ocorrido de forma desordenada, desencadeando uma série de problemas ambientais, que se reproduzem de diferentes formas na sociedade. Souza *et al*, (2008).

A problemática das inundações nesses locais tornou-se uma das principais preocupações vivenciada pela população em consequência dos impactos atrelados ao uso do solo indevido. Ribeiro; Oliveira (2009).

De acordo com Tominaga *et al*, (2009) o Brasil encontra-se entre os países do mundo mais atingidos por inundações, tendo registrado 94 desastres cadastrados no período de 1960 a 2008, com 5720 mortes e mais de 15 milhões de pessoas afetadas. Considerando somente os desastres hidrológicos que englobam inundações e movimentos de massa, em 2008 o Brasil esteve em 10^o lugar entre os países do mundo em número de vítimas de desastres naturais, com 1,8 milhões de pessoas afetadas.

O estudo detalhado de uma bacia hidrográfica é fundamental para que se proceda à utilização e ao manejo adequado dos recursos naturais, especialmente os hídricos.

O município de Castelo, situado no sul do estado do Espírito Santo, se desenvolveu no baixo curso da planície de inundação do Rio Castelo. Esta condição coloca a zona urbana do município em situação de risco, em relação às inundações. Por esta razão, o presente trabalho pretende analisar e discutir as razões para a ocorrência dos fenômenos de inundação, com base no uso dos solos e padrões de drenagem, com o objetivo de compreender seus possíveis efeitos.

O objetivo principal deste trabalho foi elaborar um diagnóstico ambiental para a BHRC, por meio de da geração de um mapa de favorabilidade ao escoamento superficial para análise preliminar da região, cálculo de alguns parâmetros morfométricos para observar o comportamento da bacia como um todo, análise dos diferentes usos do solo e declividade em campo e análise dos padrões de drenagem para entender o comportamento dos lineamentos.

Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Castelo (BHRC) localiza-se no sul do Espírito Santo, entre os meridianos 41^o23' e 41^o01' W e entre os paralelos 20^o13' e 20^o44' S. A BHRC é parte integrante da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI), que por sua vez pertence à Região Hidrográfica Costeira do Sudeste (RHCS), sendo essa última constituída pelas bacias hidrográficas de rios que deságuam no Atlântico. Castro Junior (2007). A Figura 1 apresenta a BHRC, compreendendo os municípios de Castelo, Conceição do Castelo, Venda Nova do Imigrante, porção oriental do município de Muniz Freire e pequena porção Norte do município de Cachoeiro de Itapemirim.

A BHRC possui uma área de drenagem com cerca de 850 Km² de superfície. A mesma tem o Rio Castelo como seu principal curso d'água, que corresponde ao principal afluente do Rio Itapemirim.

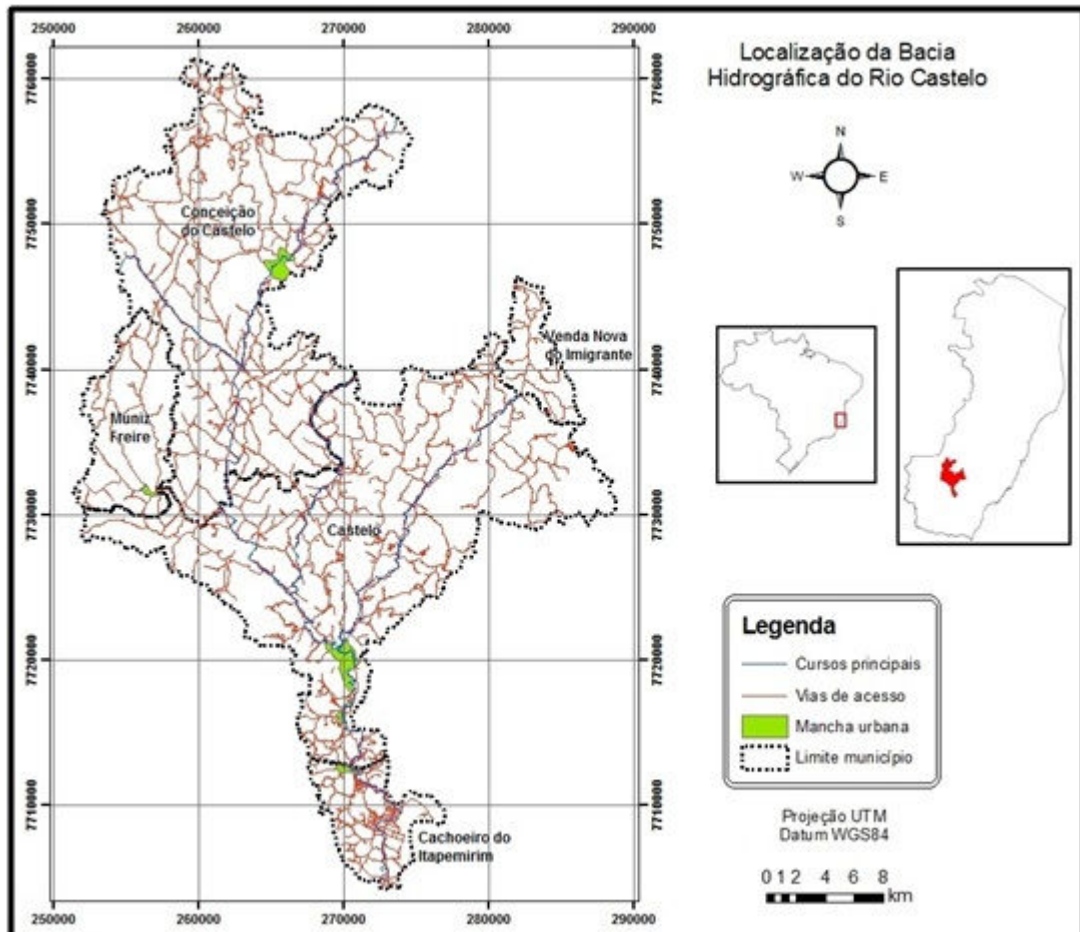


Figura 1 - Localização da BHRC em relação aos municípios drenados, ao estado do Espírito Santo e ao Brasil. Geobases (2002).

Padrões de Drenagem

O padrão de drenagem refere-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região. Christofolletti (1980).

Padrões diferentes podem ocorrer dentro de uma mesma bacia, lembrando que esses podem ser classificados segundo a sua gênese, geometria e padrão de escoamento. Guerra; Cunha (1995). Uma simples análise visual da rede hidrográfica da área de trabalho, seguida de comparação com os padrões apresentados na literatura, mostra que na BHRC predominam os padrões de drenagem treliça e dendrítico.

As zonas com canais marcados por cotovelos provavelmente estão entrecortadas por uma intensa rede de fraturas. Apesar da ocorrência de áreas de drenagem treliça, o padrão dendrítico também é perceptível na BHRC. Este fato

sugere zonas de pouca ou nenhuma influência de elementos estruturais e, geralmente, denota a ocorrência de rochas resistentes e uniformemente erodidas.

Contexto Geológico

O local de estudo está inserido na região de dobramentos brasileiros, antigamente denominada de Cinturão Atlântico. Almeida (1976) e mais atualmente de Província da Mantiqueira. Almeida et al, (1987). O setor setentrional deste cinturão é denominado Araçuaí representado pelas rochas do Complexo Paraíba do Sul. Nesta região, além de gnaisses e migmatitos, também ocorrem rochas magmáticas, rochas paleozóica e sedimentos inconsolidados cenozóicos.

O Complexo Paraíba do Sul é composto por rochas metassedimentares arqueanas, geradas em ambiente marinho, por gnaisses quartzo feldspáticos, milonitos e migmatitos, gnaisses granatíferos, charnockitos, e lentes de quartzitos, mármore, calcossilicáticas, anfibolitos e metabásicas. Machado Filho et al, (1983); Silva et al, (1987).

No estado do Espírito Santo, alguns corpos intrusivos do Complexo Paraíba do Sul foram individualizados e representados por rochas graníticas a granodioríticas neoproterozóicas interpretadas como pós-tectônicas. Tais litologias são afetadas por sistemas de falhas e fraturas, provocando diversas descontinuidades nos seus limites. Entre os representantes mais típicos, teríamos o maciço de Castelo. Paradella et al, (1978).

Por fim, ocorrem sedimentos inconsolidados, de idade quaternária, depositados em ambientes fluviais e flúvio-lacustres, que ocorrem como aluviões e são compostos por cascalho, areia e silte. Machado Filho et al, (1983); Silva et al, (1987).

O contexto geológico simplificado da BHRC pode ser observado na Figura 2 abaixo.

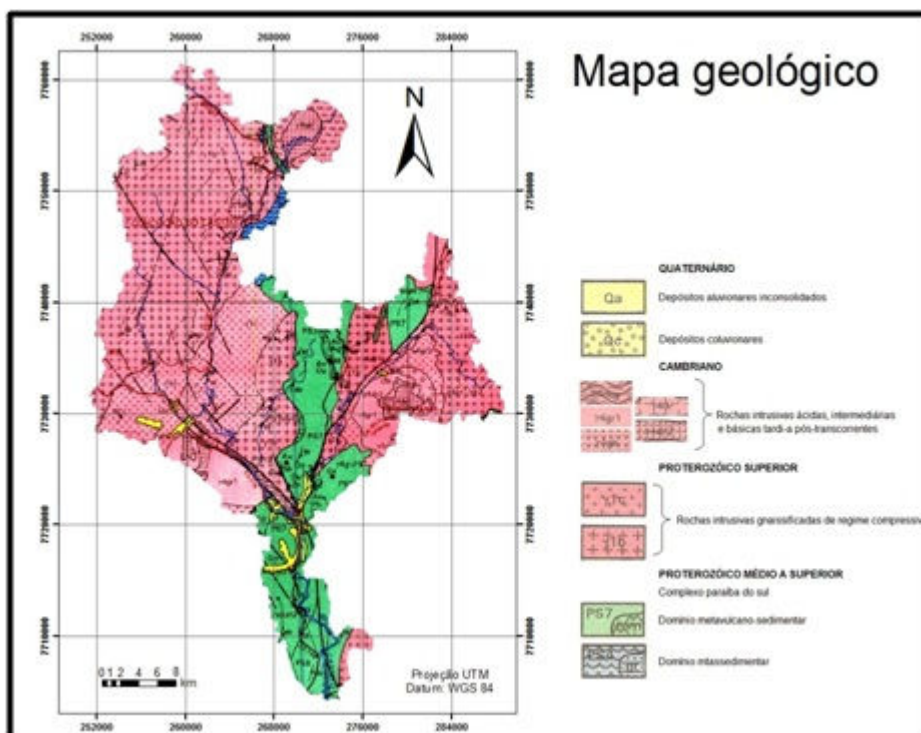


Figura 1 - Mapa geológico da BHRC. Folha Cachoeiro de Itapemirim, 1:250.000. Vieira (1997).

Metodologia

A metodologia de obtenção de dados baseou-se na geração de mapas temáticos com o auxílio do SIG, cálculo de alguns parâmetros morfométricos da bacia em estudo e uma averiguação de campo feita no final do trabalho.

Geração de Mapas Temáticos

A etapa de laboratório abrangeu a geração de um banco de dados digital, o qual foi alimentado com informações sobre as características físicas e ambientais da BHRC. Para construir este banco de dados, foram utilizadas ferramentas de tecnologia SIG, *software* ArcGis 9.3[®] e pesquisa bibliográfica.

Como suportes cartográficos, foram utilizadas bases oriundas do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo (Geobases 2002), com diversos planos de informação temáticos em escala de visualização 1:320.000, na Projeção UTM e Datum WGS-84.

A partir das informações citadas anteriormente, foi gerado um mapa de favorabilidade ao escoamento superficial, que corresponde à parcela mais significativa das informações aqui utilizadas para a caracterização ambiental da BHRC.

Para geração do referido mapa de favorabilidade foi dada ênfase ao tipo de uso do solo e à declividade da região, pois, de acordo com a Embrapa (2010), esses são condicionantes importantes em relação à infiltração. O tipo de textura dos

solos influencia na ação de processos erosivos, em especial quando sofrem desmatamento e concentração de águas pluviais. Já a declividade, interfere de maneira inversa na infiltração da água no solo, ou seja, quanto maior a declividade menor a taxa de infiltração.

Seguindo essa linha de pensamento, inicialmente foi gerado o mapa de declividade da BHRC a partir do MNT, utilizando o *software* ArcGis 9.3[®]. Posteriormente, esse foi classificado em três classes de valores iguais, como se pode observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da declividade da BHRC.

| Classes | Declividade | Escoamento |
|----------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 46° - 70° graus | Alto |
| 2 | 26° - 45° graus | Média |
| 3 | 0° - 25° graus | Baixo |

Vários autores têm relacionado a taxa de escoamento superficial a diversos padrões de uso e ocupação do solo. Em seguida, procedeu-se a reclassificação do plano de informação temático “uso do solo” conforme 4 classes que foram definidas, a partir de revisão bibliográfica, e são apresentadas na Tabela 2 abaixo:

Tabela 2 - Classificação do uso do solo da BHRC.

| Classes | USO DO SOLO | Escoamento |
|----------------|---|----------------------|
| 0 | Rios e Áreas alagadas | Nulo |
| 1 | Afloramento/solo exposto e área urbana | Alto |
| 2 | Agricultura, Pastagem e Pastagem/Sombra | Alto a médio |
| 3 | Floresta plantada em crescimento e Vegetação natural/secundária | Alto a médio à baixo |
| 4 | Floresta natural/sombra e Floresta natural primária ou secundária | Médio a baixo |

Para a geração do mapa de favorabilidade ao escoamento superficial foi utilizada a ferramenta de interseção do *software* ArcGis 9.3[®]. Este procedimento consiste na multiplicação de cada classe, resultando índices de 1 a 12 como se pode observar na Tabela 3. Esse último mapa foi reclassificado de acordo com o grau de escoamento superficial. Foi considerado que os índices menores ou iguais a 3 representam alto escoamento superficial, índices maiores que 3 e menores ou iguais a 6 representam escoamento superficial intermediário e índices maiores que 6 são considerados como escoamento superficial baixo.

Tabela 3 - Cruzamento dos índices de “uso do solo” e “declividade”, com geração dos índices de escoamento superficial e sua respectiva classificação.

| Uso do Solo | Declividade | Escoamento | Classificação |
|-------------|-------------|------------|---------------|
| 1 | 1 | 1 | ALTO |
| 2 | 1 | 2 | ALTO |
| 3 | 1 | 3 | ALTO |
| 4 | 1 | 4 | MÉDIO |
| 0 | 1 | 0 | NULO |
| 1 | 2 | 2 | ALTO |
| 2 | 2 | 4 | MÉDIO |
| 3 | 2 | 6 | MÉDIO |
| 4 | 2 | 8 | BAIXO |
| 0 | 2 | 0 | NULO |
| 1 | 3 | 3 | ALTO |
| 2 | 3 | 6 | MÉDIO |
| 3 | 3 | 9 | BAIXO |
| 4 | 3 | 12 | BAIXO |
| 0 | 3 | 0 | NULO |

Nesta etapa também foi elaborado um mapa de lineamentos morfoestruturais sobre ortofotos de 2007 cedidas pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA) compatíveis com a escala 1:15.000, com 1 metro de resolução espacial. Os mesmos foram traçados a partir do talvegue das drenagens, com o objetivo de viabilizar uma análise qualitativa das direções predominantes.

Um perfil topográfico também foi confeccionado através do *software* ArcGis 9.3[®] por meio da ferramenta 3D Analyst.

Análise morfométrica

Ainda na fase de laboratório foram calculados e medidos vários parâmetros físicos da BHRC. A utilização das ferramentas de SIG foi indispensável nesta etapa.

Os parâmetros adotados no presente estudo atendem aos objetivos iniciais da pesquisa já que seus valores se referem à forma da bacia, aos componentes da rede hidrográfica e à variação da altitude da região, que posteriormente serão relacionados à ocorrência de cheias. Esses parâmetros encontram-se relacionados na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4: Parâmetros morfométricos para a BHRC.

| Parâmetro | Fórmula | Autor |
|-----------------------------|---------------------------------|---|
| Relação de Relevo | $R_r = \frac{\Delta a}{L}$ | Schumm, 1956; Lana <i>et al.</i> , 2001 e Castro & Carvalho 2009. |
| Densidade Hidrográfica | $D_h = \frac{n}{A}$ | Teodoro <i>et al.</i> , 2007 |
| Densidade de Drenagem | $D_d = \frac{C}{A}$ | Horton, 1945 |
| Coefficiente de manutenção | $C_m = \frac{1}{D_d} 1000$ | Schumm, 1956 |
| Gradiente de Canais | $G_c = a_{max} / L$ (%) | Horton, 1945 |
| Índice de Circularidade | $I_c = \frac{A}{A_c}$ | Muller, 1953 e Schumm, 1956 |
| Índice de Sinuosidade | $I_s = \frac{L}{dv}$ | Schumm, 1963 |
| Coefficiente de compacidade | $K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ | Tonello <i>et al.</i> , 2006 |
| Fator de forma | $F = \frac{A}{L^2}$ | Cardoso <i>et al.</i> , 2006 |

A ordem dos cursos d'água foi definida, segundo Sthraler (1957), de forma a complementar as informações obtidas a partir dos índices calculados.

Análise do mapa de favorabilidade em campo

O trabalho de campo foi realizado com o auxílio de um mapa topográfico na escala 1:50000, elaborado a partir dos planos de informação adquiridos através do Geobases (2002). Os pontos descritos em campo tiveram suas coordenadas adquiridas com GPS de navegação e foram fotografados. O objetivo desta etapa foi verificar em escala pontual se as áreas potencialmente inundáveis, apontadas pelo SIG, de fato se confirmam.

Foram visitados 18 pontos, de acordo com a viabilidade de acesso à região. As planícies de inundação com presença de habitações tiveram preferência de escolha, como se observa na Figura 3, pois as perdas materiais e humanas são maiores nessas áreas, quando assoladas por inundações. Também é possível observar a vegetação em crescimento, representada pelo cultivo de eucaliptos, que aparecem com maior frequência nas porções Norte e Nordeste da região. Os padrões de uso do solo e declividade foram analisados qualitativamente.

A Figura 4 demonstra a ocupação na parte mais baixa do município de Castelo, cuja suavidade topográfica contrasta com a forte declividade observada ao redor da área urbana. Observa-se na Figura 5 a pastagem como uso do solo predominante que, de maneira geral, representa o manejo mais comum em toda bacia. O plantio de café e a constante prática de canalização dos rios, fazem-se presentes em vários locais, como se pode observar na Figura 5.

A vegetação natural também se apresenta como manchas remanescentes em vários pontos da bacia como mostra a Figura 6.



Figura 3 - Habitações ocupando a planície de inundação de um curso d'água da BHRC



Figura 4 - Foto tirada na planície de inundação do município de Castelo (retângulo), mostrando o contraste de declividade (setas) da região.



Figura 5 - Planície aluvial marcada por um canal retilíneo (seta). A foto também ilustra a pastagem como uso do solo e cultivo café. Observa-se também um meandro abandonado (retângulo).



Figura 6 -2 Foto de um fragmento de vegetação nativa registrado no acesso vicinal de Venda Nova do Imigrante a Castelo.

Resultados obtidos

Avaliação do mapa de favorabilidade em campo

O mapa de declividade reclassificado da BHRC é apresentado na Figura 7.

Pode-se observar que a alta declividade, caracterizada pelo índice 3 (Tabela 1) e cor vermelha, é pouco expressiva na região, enquanto que a declividade baixa, que

apresenta cor verde e índice 1, é considerada significativa no mapa, principalmente nas áreas de cabeceira da Bacia.

O produto da reclassificação do mapa de uso do solo, apresentado na Figura 8, mostra como a “pastagem e agricultura”, indicada pelo número 2, prevalecem em toda região.

O índice 1, “afloramentos e áreas urbanas”, ocorre distribuído por toda a bacia, porém aparece em menores proporções. A vegetação em crescimento é representada por eucaliptos e está presente apenas na porção Norte e Leste da Bacia. O índice 4, vegetação nativa, destaca-se em toda a bacia, principalmente na parte norte.

Um dos resultados principais deste trabalho é apresentado na Figura 9, com descrições metodológicas no item 3.1, e representa o mapa de favorabilidade ao escoamento superficial.

A região vermelha, que está presente na maior parte da bacia, sugere o baixo escoamento superficial, ou seja, é onde deve ocorrer a maior retenção de águas. A porção amarela demonstra a susceptibilidade intermediária em relação ao escoamento e, finalmente, a parte verde, pouco representativa, apresenta o alto escoamento superficial e infiltração provavelmente menor.

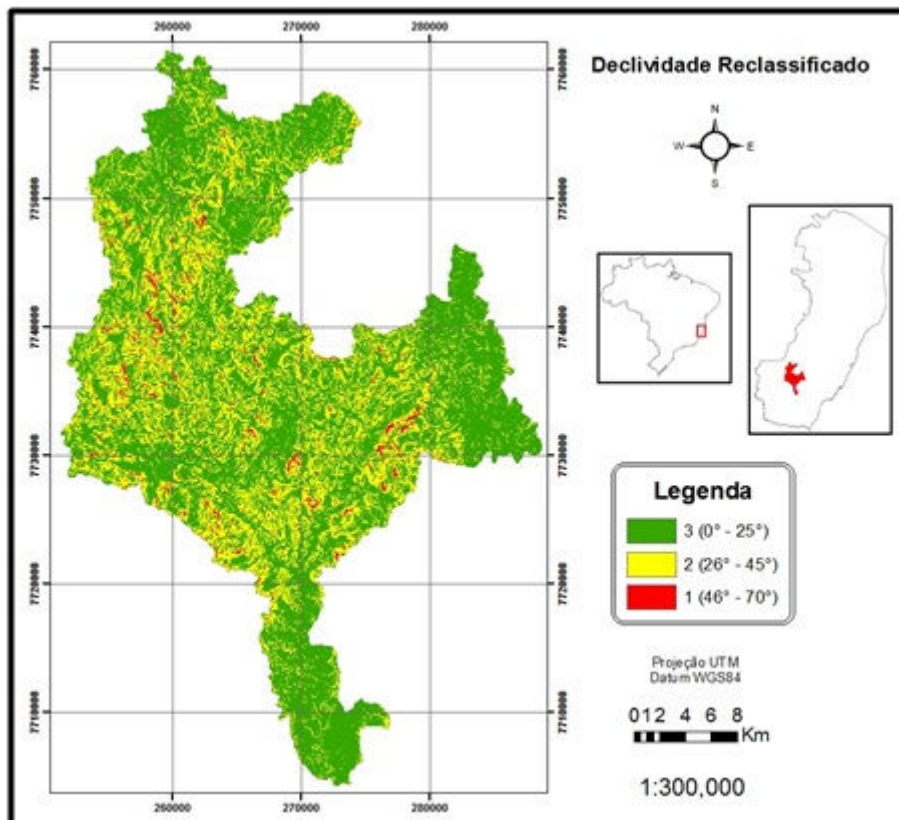


Figura 7 - Mapa de Declividade, da BHRC, gerado no software ArcGis 9.3® a partir do MNT.

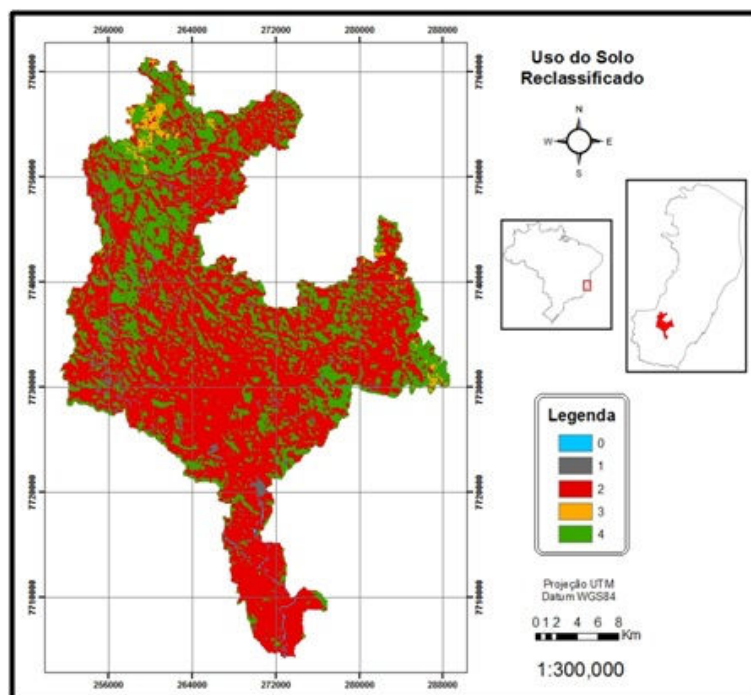


Figura 8 - Mapa do uso do solo reclassificado, gerado no software ArcGis 9.3[®] a partir do plano temático uso do solo.

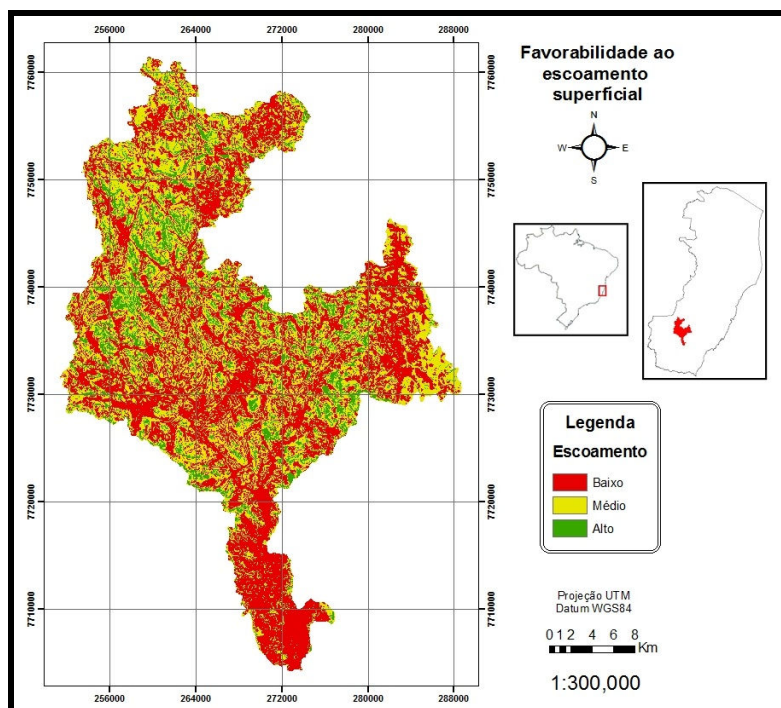


Figura 9 - Mapa de favorabilidade ao escoamento superficial, gerado no software ArcGis 9.3[®] a partir dos dados de declividade e uso do solo, na escala 1:300.000.

Resultados da morfometria

Através do SIG foi possível obter os valores (Tabela 5) que consistem em dados preliminares utilizados na etapa de cálculo dos índices morfométricos.

Tabela 5 - Valores para a BHRC.

| | |
|---------------------------------------|---------------------|
| Perímetro | 260 km |
| Área | 856 km ² |
| Variação da altitude | 1100 m |
| Comprimento do canal principal | 53 km |
| Distância vetorial do canal principal | 85 km |
| Comprimento total dos canais | 1974 km |

Com a análise do sistema de drenagem verificou-se que a BHRC é de 5^a ordem, conforme a classificação de Strahler (1957), o que demonstra que a mesma possui um sistema de drenagem com ramificação significativa. Na tabela 6 encontram-se os valores obtidos através do cálculo dos parâmetros morfométricos da BHRC.

Tabela 6 - Índices morfométricos da BHRC.

| Índices Morfométricos | Valores/ Unidades |
|----------------------------------|--------------------------|
| Coefficiente de compacidade (Kc) | 2,49 |
| Coefficiente de manutenção (Cm) | 434,78 m |
| Densidade de drenagem (Dd) | 2,3 km/km ² |
| Densidade hidrográfica (Dh) | 1,95 canais/km |
| Fator de forma (Kf) | 0,62 |
| Gradiente de canais (Gc) | 0,14% |
| Índice de circularidade (Ic) | 0,16 |
| Índice de sinuosidade (Is) | 1,6 |
| Relação de relevo (Rr) | 0,13 km |

A forma da bacia é determinada por índices que se relacionam com formas geométricas conhecidas, como o fator de forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc) e índice de circularidade (Ic).

A BHRC apresenta menor tempo de concentração de água da chuva pelo fato de o coeficiente de compacidade apresentar o valor afastado da unidade (2,49) e de seu fator de forma exibir valor baixo (0,62). Esses valores indicam que a bacia possui formato uma bacia alongada. Tal fato pode, ainda, ser comprovado pelo índice de circularidade, cujo valor é de 0,16. Segundo Villela; Mattos (1975), as bacias alongadas possuem menor concentração do deflúvio. Logo, pode-se inferir que a BHRC, como um todo, apresenta pequeno risco de inundações nas condições normais de precipitação. Porém visualmente se percebe que o vale onde Castelo se encontra é “afunilado”, sugerindo que toda a carga sedimentar e a vazão do sistema fluvial seja concentrada na área onde ocorre a redução abrupta

na largura da bacia (exatamente onde foi edificado o núcleo urbano de Castelo). Mas isso não é explicitado pela morfometria, demonstrando que o método não tem este nível de alcance.

A densidade de drenagem obtida foi de 2,3 km/km². Segundo Vilella; Mattos (1975), esse índice indica, portanto, que a bacia em estudo apresenta um índice relativamente alto, logo representa grande capacidade de drenagem. Apontando nesse mesmo sentido a densidade hidrográfica de 1,95 canais/km² evidência que a bacia é bem drenada.

O Coeficiente de Manutenção é de 434,78 m²/m, sendo área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento. Dessa maneira, quanto maior o resultado, maior a concentração do deflúvio e mais forte é a predisposição à erosão.

Os valores obtidos para os parâmetros relação de relevo (0,013) e gradiente de canais (0,016%), que apresentam aspectos sobre a declividade da bacia, revelaram que, no que diz respeito ao canal principal da BHRC, a declividade é baixa e o relevo é relativamente suave, em comparação com Lana (2001), que assume como declividade baixa valores de $R_r = 0,0082$ e $G_c = 0,012\%$.

O índice de sinuosidade encontrado para a BHRC foi 1,6. Para Riccomini *et al*, (2000), o valor de 1,5 classifica os rios com alta sinuosidade, logo a BHRC foi então considerada com sinuosidade elevada.

No trabalho foi considerando a bacia como um todo, por isso ela tende a apontar um comportamento geral de pouca tendência à inundação. No entanto, esse índice não registra a existência das áreas de retenção de sedimentos localizadas, as quais favorecem a ocorrência de inundações. Prova disso é a constatação em campo de uma série de áreas propensas à ocorrência isolada de inundações.

Os patamares morfoestruturais influenciam o valor do índice de sinuosidade, conferindo à bacia uma tendência ao meandramento. Apesar disso vários segmentos aparentemente controlados por estrutura geológicas marcam o padrão hidrográfico da região, fato não retratado pela morfometria.

Análise de campo

Em geral o campo foi realizado ao longo da calha dos rios Castelo e Caxixe, que são as principais drenagens da região e, conseqüentemente, suas planícies aluviais se tornam locais preferenciais para a ocupação humana, como se pode observar nas Figuras 10, 12 e 16.

As áreas urbanas, ilustradas nas Figuras 11 e 13 mostram o desenvolvimento das cidades da região nas porções mais planas da bacia. Vale ressaltar que as figuras também demonstram que as áreas planas são circundadas por áreas de maior declividade.

Os padrões de drenagem variam ao longo de toda a bacia. Pode-se observar que na Figura 14 a sinuosidade do Rio Castelo é comprovada pelo aspecto meandrante do canal e, na figura 15 a drenagem encontra-se encaixada no vale. Na Figura 14 observa-se uma lagoa de cheia deixada pelo rio o que demonstra indícios claros das zonas mais inundáveis das bacias hidrográficas. Ainda na Figura 18 observa-se que a canalização dos rios é comum. De acordo com Guerra;

Cunha (1995) essa técnica é considerada como imprópria, prejudicando ao meio ambiente e desencadeia impactos no canal e na planície de inundação, um dos principais é o processo de inundação. A seguir são apresentadas as fotos dos pontos visitados.



Figura 10 - Observa-se a ocupação das planícies de inundação do Rio Castelo, onde a seta indica a marca da última inundação que ocorreu no final de 2009.



Figura 11 - A Área urbana do município de Castelo onde pode-se observar o contraste entre as escarpas íngremes ao fundo e a planície em que a cidade foi edificada.



Figura 12 -3 Nota-se a ocupação na planície aluvial do Rio Castelo, a variação da declividade e do uso do solo de eucaliptos e pastagem (quadrado).

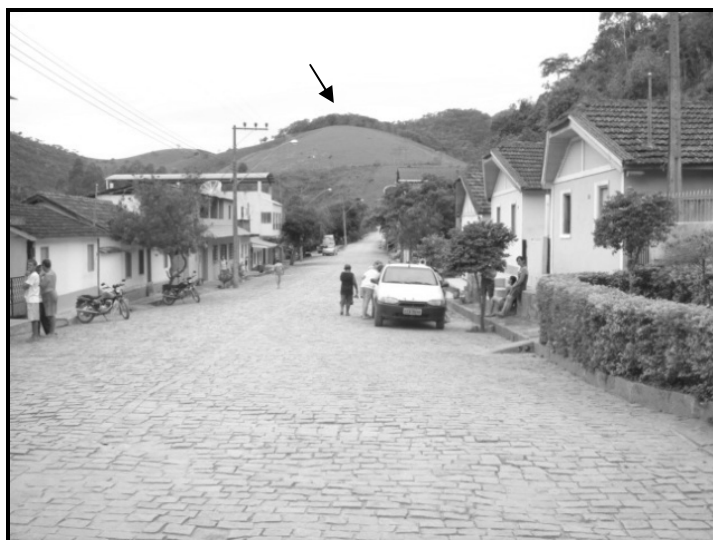


Figura 13 -Porção plana do distrito de Vieira Machado, a seta indica a alta declividade que contorna a região.



Figura 14 - O Rio Castelo apresenta-se sinuoso e encaixado no vale. Destaca-se também a variação da vegetação, ora aparentemente nativa (a), ora predominantemente dominada pela pastagem, (b).



Figura 15 - Planície aluvial do Rio Castelo onde observa-se, no retângulo, o canal abandonado do rio e a seta vermelha indica o desvio antrópico do canal.



Figura 16 - Distrito de Caxixe Quente, pode-se observar que a cidade desenvolveu-se ao longo de um sistema fluvial entrelaçado proximal, caracterizado pelos matacões

A Tabela 7 demonstra a localização de cada ponto investigado e suas características em relação ao uso do solo, à declividade e a favorabilidade ao escoamento superficial observados em campo. É feita uma comparação entre essas observações e as expectativas obtidas a partir do SIG. Nota-se, então que aproximadamente 50% dos dados gerados pelo método computacional são compatíveis com as características observadas em campo. Esta disparidade entre os dados gerados pelo SIG e a realidade de campo demonstram que a metodologia de escritório deve ser tratada com ressalvas, principalmente quando a base de dados apresenta caráter regional e os objetos de estudo requererem uma abordagem a partir de escalas maiores. Com base nisso, é desejável que os trabalhos computacionais sejam sempre suportados por etapas de investigação em campo.

Tabela 7 - Tabela com as características observadas de cada ponto visitado em campo e no SIG, em relação ao uso do solo, declividade e favorabilidade ao escoamento superficial.

| Ponto | E (m) | N (m) | Uso do Solo | | Declividade | | Favorabilidade | |
|-------|--------|---------|-------------|-------|-------------|-------|----------------|-------|
| | | | SIG | CAMPO | SIG | CAMPO | SIG | CAMPO |
| 1 | 270286 | 7712686 | 2 | 1 | 3 | 3 | MÉDIA | BAIXO |
| 2 | 269249 | 7720326 | 2 | 1 | 3 | 3 | MÉDIA | BAIXO |
| 3 | 265029 | 7725699 | 2 | 2 | 3 | 3 | MÉDIA | BAIXO |
| 4 | 263142 | 7726516 | 2 | 4 | 2 | 2 | MÉDIA | MÉDIO |
| 5 | 261152 | 7727422 | 2 | 2 | 2 | 2 | MÉDIA | BAIXO |
| 6 | 256595 | 7731732 | 2 | 1 | 3 | 3 | MÉDIA | BAIXO |
| 7 | 261823 | 7733912 | 2 | 2 | 3 | 2 | MÉDIA | MÉDIO |
| 8 | 262818 | 7740143 | 2 | 2 | 3 | 3 | MÉDIA | BAIXO |
| 9 | 263709 | 7744414 | 2 | 3 | 3 | 2 | MÉDIA | MÉDIO |
| 10 | 264881 | 7746117 | 1 | 1 | 3 | 3 | ALTA | ALTO |
| 11 | 267187 | 7750409 | 2 | 2 | 3 | 2 | MÉDIA | BAIXO |
| 12 | 260419 | 7758133 | 2 | 3 | 3 | 3 | MÉDIA | MÉDIO |
| 13 | 283688 | 7739903 | 2 | 4 | 3 | 3 | MÉDIA | BAIXO |
| 14 | 282285 | 7738703 | 2 | 2 | 2 | 3 | MÉDIA | BAIXO |
| 15 | 280889 | 7737062 | 2 | 2 | 3 | 2 | MÉDIA | MÉDIO |
| 16 | 278784 | 7734500 | 4 | 3 | 3 | 3 | BAIXA | BAIXO |
| 17 | 274839 | 7730917 | 2 | 1 | 2 | 1 | MÉDIA | ALTO |
| 18 | 273821 | 7728195 | 2 | 2 | 3 | 3 | MÉDIA | BAIXO |

Neotectônica na área de trabalho

Devido à falta de estudos específicos na BHRC a influência da neotectônica na rede de drenagem será aqui abordada segundo os lineamentos morfoestruturais traçados sobre ortofotos e estudos de outros autores sobre o tema em outras porções do estado do Espírito Santo.

O mapa de lineamentos da rede de drenagem (Figura 17) mostra que existe uma predominância de direções de lineamentos de NW-SE e NE-SW, secundariamente NNE-SSW. Os lineamentos mais longos da direção NW são mais expressivos na porção oeste da bacia, o que justifica o padrão treliça encontrado nessa mesma região, confirmando. Há predomínio de lineamentos NE, mais extensos, da porção leste da área de estudo.

Pode-se observar através do mapa que os lineamentos predominantes cruzam-se no estreitamento da bacia, próximo a cidade de Castelo, canalizando o escoamento superficial para as porções mais baixas. A simples redução da largura da bacia já potencializa a propensão às inundações, pois consiste num processo natural de retenção de vazão.

O perfil topográfico (Figura 18) confirma a existência de patamares ao longo do canal principal da BHRC. Tais patamares seriam esperados em uma bacia hidrográfica fortemente marcada pela presença de famílias de fratura truncantes entre si, mas a ocorrência sistemática e tão visível de pontos de inflexão (*knickpoints*) sugere a ocorrência de reajustes tectônicos ao longo do Cenozóico, a exemplo do que sabidamente ocorre a Norte do estado.

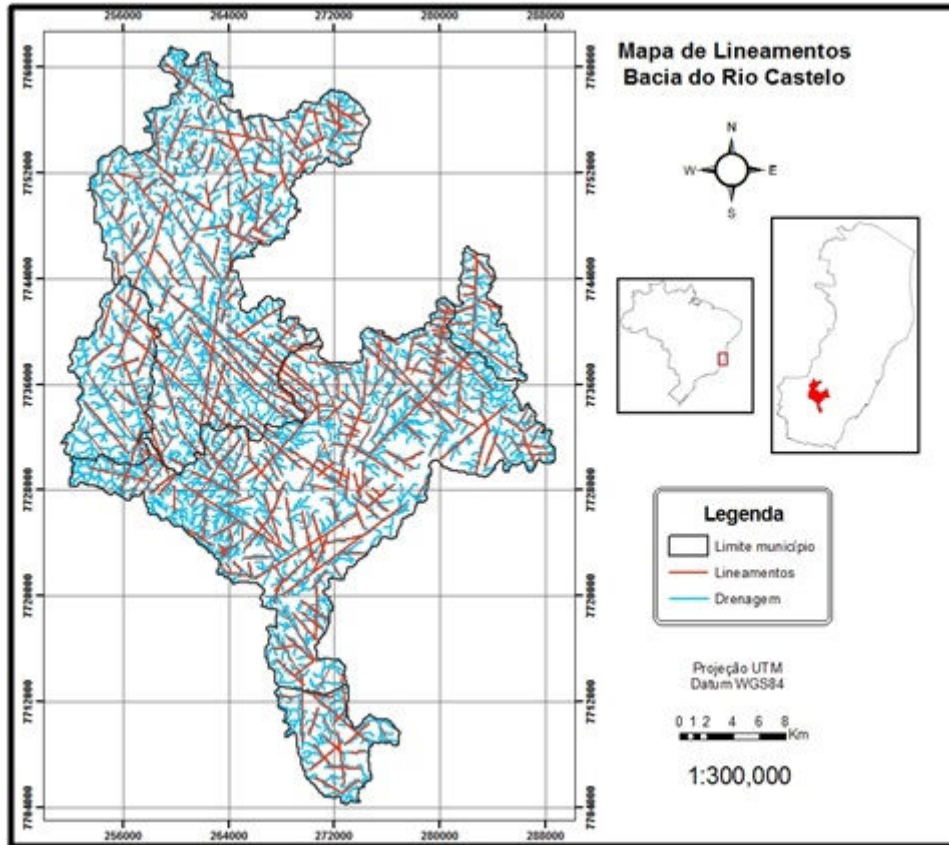


Figura 17 - Mapa de lineamentos morfoestruturais da BHRC, elaborado a partir de ortofotos (IEMA 2007) através do software ArcGis 9.3®.

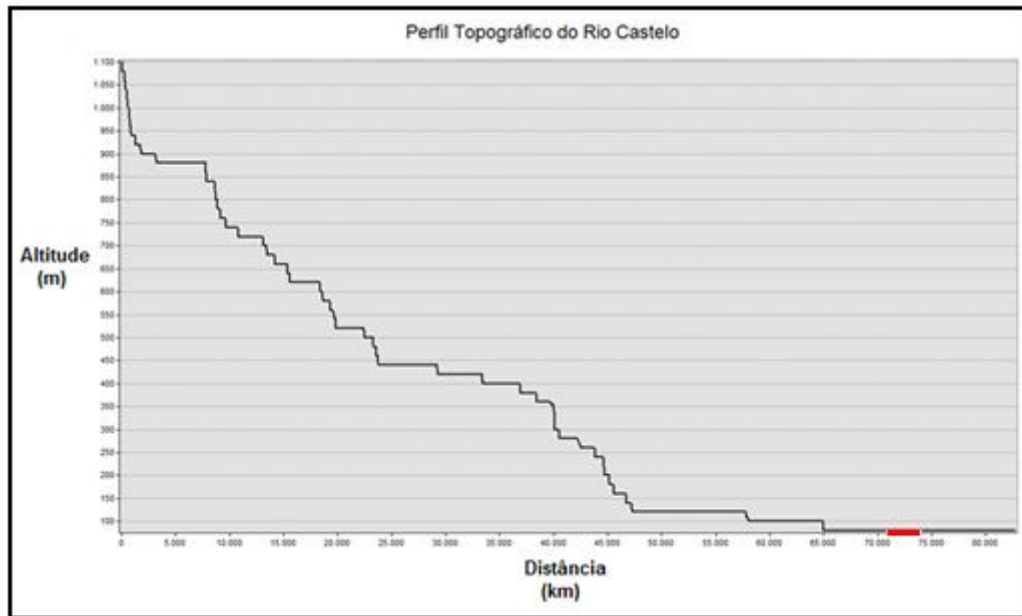


Figura 18 -4 Perfil topográfico da BHRC, gerado no software ArcGis 9.3[®]. O segmento vermelho destaca a posição aproximada de Castelo no perfil.

A partir da figura 18 pode-se observar também que a área urbana da cidade de castelo situa-se na porção de menor declividade da região, mais especificamente onde há uma estabilização na variação de cota, logo o escoamento superficial será baixo, como é mostrado pelo mapa de favorabilidade ao escoamento superficial, resultam deste fato a forte tendência ao acúmulo de água, e os conseqüentes pulsos de inundação.

Mesmo se tratando de uma bacia onde as taxas de escoamento superficial tendem a ser altas, em função da topografia, a conformação do relevo em patamares favorece o confinamento dos segmentos fluviais, com provável aceleração dos processos de saturação dos aquíferos, corroborando a forte propensão de áreas localizadas à ocorrência de inundações.

Discussões e conclusões

A utilização do SIG para a geração de um banco de dados foi muito importante no decorrer do trabalho, se mostrou eficiente no que diz respeito à velocidade de produção de mapas e na etapa de análises preliminares ao trabalho de campo. O SIG foi um elemento essencial para a análise de dados espaciais, mostrando resultados claros e de fácil interpretação. A caracterização morfométrica da bacia também contribuiu para a reflexão dos resultados obtidos no trabalho em questão.

Entretanto, cabe ressaltar que nenhuma das etapas citadas deve ser entendida como capaz de simplificar a dinâmica da bacia hidrográfica estudada ou permitir a formulação de conclusões sobre os condicionantes da ocorrência de cheias. Os resultados desse trabalho demonstram que essas ferramentas aplicam-se de

melhor forma em regiões homogêneas, onde não há variabilidade litológica ou controle estrutural.

Vale lembrar que em estudos sobre inundações as variáveis geológicas são fundamentais para a interpretação segura dos resultados obtidos, enquanto a morfometria, por exemplo, herda bases conceituais para as quais as características geológicas e estruturais são por vezes desconsideradas ou tratadas periféricamente.

A definição das faixas de valores compreendidas neste estudo dependeu da percepção individual das características fisiográficas e urbanas de cada área distinta pois cada região possui particularidades em termos de relevo e uso do solo, cuja qualificação e distribuição em faixas de valores numéricos pode variar conforme necessidades específicas.

Diante dos resultados obtidos, percebe-se que a geometria da rede de drenagem da BHRC é controlada por estruturas (prováveis fraturas) presentes nas rochas e talvez reforçada por eventos tectônicos recentes.

Os lineamentos condicionariam a retenção de sedimentos e redução de vazão, já que viabilizam a instalação de patamares morfoestruturais, que são locais preferencialmente ocupados pelo ser humano, e de maior tendência a redução de vazão resultando no processo recorrente de inundação. Esta conclusão é reforçada pelo perfil topográfico que mostra a instalação da cidade de castelo no local onde a topografia se torna mais plana e a concentração de água e sedimentos diversos tende naturalmente a ser maior.

Referências

- Almeida, F. F. M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B. B. & Fuck, R. A. 1987. Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8, Campina Grande, Paraíba, 1987. Sociedade Brasileira de Geologia, Atas, pp. 363-391.
- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B. 1976. The Upper Precambrian of South America. *Boletim IG*, Instituto de Geociências da USP, 7:45-80.
- Cardoso, C. A.; Dias, H. C. T.; Soares, C. P. B.; Martins, S. V. 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore.*, 30: 241-248.
- Castro Junior, R. M., Sobreira, F. G., Bortoloti, F. D. 2007. Modelagem geoestatística a partir de parâmetros de qualidade da água (iqa-nsf) para a sub-bacia hidrográfica do Rio Castelo (ES) usando sistema de informações geográficas. *Revista Brasileira de Cartografia.*, 3.
- Castro, S. B. & Carvalho, T. M. 2009. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do Rio Turvo – GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Scientia Plena.*, 5: 1-7.
- Christofoletti, A. 1980. *Geomorfologia*, Edgard Bluncher, 188p.
- Embrapa - Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=243&func=unid>. Acessado em 07 set 2010.
- Esri. ArcGIS – ArcMap 9.3 Help On Line. Redlands: ESRI, 2008.
- Geobases. Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo. 2002. INCAPER. Disponível em: <http://www.geobases.es.gov.br/portal/>. Acesso em: 17 ago 2010.
- Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. 1995. *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 472p.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin.*, 56, 275-370.
- IEMA – Instituto Estadual do Meio Ambiente. 2007. Levantamento Aerofotogramétrico na escala 1: 35.000. Ortofotomosaico

- Lana, C. E., Alves, J. M. P., Castro, P. T. A. 2001. Análise morfométrica da bacia do Rio Tanque, MG – Brasil. *Revista Escola de Minas.*, 53.
- Machado Filho, L., Ribeiro, M. W., Gonzalez, S. R., Schenini, C. A., Santos Neto, A., Palmeira, R. C. B., Pires, J. L., Teixeira, W., Castro, H. E. F. 1983. Projeto RADAMBRASIL Folha SF.23/24. Rio de Janeiro/Vitória. v.32, 278p.
- Muller, V.C. 1953. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. Virginia and Tennessee. *Dept. of Geology.*, 3: 30.
- Paradella, W.R., Meneses, P.R., Liu, C.C. 1978. Caracterização dos maciços ácidos e diferenciados do sul do Estado do Espírito Santo através de técnicas de análise automáticas de dados Landsat. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1, Atas*, p.657-678.
- Ribeiro A. L. P. & Oliveira R. C. 2009. Parâmetros morfométricos e enchentes e inundações no município de Guarujá – SP. *In: SBGFA, Simpósio Brasileiro de geografia e física aplicada. Viçosa, 12, Atas.*
- Ricomini, C., Giannini, P. C. F., Mancini, F. 2000. Rios e Processos Aluviais. *In: W. Texeira, M. C. M. Toledo, T. R. Fairchild, F. Taioli. Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo, 191-214.*
- Schumm, S.A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin.*, 67, 597-646.
- Schumm, S.A. 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Geological Society of America Bulletin.*, 74, 1089-1100.
- Silva, J. M. R., Lima, M. I. C., Veronese, V. F., Ribeiro Junior, R. N., Rocha, M. L., Siga Junior, O. 1987. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE-24 Rio Doce. Rio de Janeiro, v.34, p.23-174.
- Souza M. L., Gasparetto N. V. L., Nakashima P. 2008. Diagnóstico geoambiental da Bacia do Córrego Tenente em Mariluz, Paraná, Brasil. *Revista brasileira de geociências.*, v.38.
- Strahler, A. N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of American Geophysical Union.*, 38: 913-920.
- Teodoro, V. L. L., Teixeira, D., Costa, D. J. L., Fuller, B. D. 2007. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista UNIARA.*, 20: 137 – 157.
- Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. 2009. Desastres naturais: Conhecer pra prevenir. Instituto geológico, São Paulo, 196p.
- Tonello K. C.; Dias, H. C. T.; Souza, A. L. de; Ribeiro, A. A. S. e Leite, F. P. 2006. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. *Revista Árvore.*, 30: 849-857.
- Vieira, V. S. 1997. Projeto Mapeamento Geológico/ Metalogenético Sistemáticos: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folha Cachoeiro de Itapemirim - SF.24-Z-V-A, Escala 1:250.000. Brasília: DNPM/CPRM, 99p., v. 1 (Inédito).
- Vilella, S. M. & Matos, A. 1975. Hidrologia Aplicada. São Paulo.