

Revista Brasileira de Cartografia (2017), Nº 69/7: 1355-1370
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO CARMO: ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS, EQUAÇÃO DE CHUVA INTENSA E TEMPO DE CONCENTRAÇÃO, E ANÁLISE DA SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO

Watershed of Ribeirão do Carmo: Morphometric Attributes, Intense Rain Equation and Time of Concentration and Analysis of Susceptibility to Flood

Leonardo Andrade de Souza¹ & Frederico Garcia Sobreira²

**¹Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia**

Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil
leonardo@zemlya.com.br

**²Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Escola de Minas**

Campus Universitário do Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil
sobreira@degeo.ufop.br

*Recebido em 12 de Julho, 2016/ Aceito em 7 de Outubro, 2016
Received on July 12, 2016/ Accepted on October 7, 2016*

RESUMO

A avaliação da composição e forma da rede de drenagem em uma bacia hidrográfica permite a caracterização dos aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, possibilitando através de estudos comparativos de cenários utilizar os parâmetros como elementos de suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental. Nesse sentido, a análise dos atributos morfométricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC) teve como pressuposto estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis da bacia e os seus condicionantes. Já a avaliação do padrão de comportamento das chuvas intensas no interior da bacia foi realizada juntamente com a determinação do tempo de concentração, a partir do início de uma determinada chuva, para que toda a área da bacia hidrográfica passe a contribuir com água para a vazão que se estabelece em seu exutório. Como análise final foi cartografada a suscetibilidade à deflagração de processos de inundação ao longo da BHRC, a partir da utilização de métodos qualitativos baseados nos atributos morfométricos e na análise geomorfológica, e na superposição e atribuição de pesos para mapas de fatores, associados ao conhecimento especialista de campo.

Palavras-chave: Morfometria, Bacia Hidrográfica, Suscetibilidade.

ABSTRACT

The evaluation of the composition and shape of the drainage network in a watershed allows the characterization of geometrical aspects and composition of the environmental systems, enabling through comparative studies of scenarios using the parameters as support elements for the definition and development of indicators for management environmental. In this way, the analysis of morphometric attributes of Ribeirão do Carmo's watershed (BHRC) had the presumption to establish the relations among the measurable parameters of the basin and its conditions. Already the standard evaluation behavior of heavy rainfall within the basin was held together with the determination of the concentration time,

from the beginning of a particular rain, so that the whole catchment area passes to contribute with water to flow that is established in your river mouth. As final analysis was mapped susceptibility to outbreaks of flooding processes along the BHRC from the use of qualitative methods based on morphometric attributes and geomorphological analysis, and superposition and assigning weights to factors maps, associated to the specialist knowledge of field.

Keywords: Morphometry, Watershed, Susceptibility.

1. INTRODUÇÃO

As redes de drenagens fluviais sempre tiveram um papel central nos estudos hidrológicos que procuram compreender a ocorrência, distribuição, movimentação da água e de suas propriedades. Designa os sistemas naturais ou artificiais capazes de drenar água superficial atuando como importante registro das alterações ocorridas em seu interior, de forma a refletir, via de regra, as mudanças condicionadas por processos naturais ou atividades antrópicas, seja por meio das alterações na qualidade das águas, ou na própria configuração da rede de drenagem.

Orientado pela Lei 9.433, que instituiu a PNRH, onde define-se que a “Bacia Hidrográfica” é a “unidade territorial” para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, este estudo de abrangência intermunicipal é parte componente de um estudo mais amplo, cujo objetivo foi elaborar um diagnóstico geotécnico e geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC).

Lanna (1995) ressalta como uma das vantagens de se adotar a unidade territorial “Bacia Hidrográfica” como alternativa para o planejamento e gerenciamento ambiental o fato de que a rede de drenagem de uma bacia pode ser capaz de indicar relações de causa-efeito, particularmente aqueles que envolvem o meio hídrico, sugerindo duas escalas de abordagem: uma primeira, adotada neste trabalho, que trata da complexidade das interações em toda a superfície territorial da bacia, e uma segunda, mais específica, que considera as restrições, limitações e demandas das partes que compõem a bacia hidrográfica (bacias interiores) impostas pelo todo.

Segundo Collares (2000), a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é um importante indicador de alterações ocorridas na composição da paisagem, seja por mudanças na sua estruturação e forma, seja por ganho ou perda de canais. O mesmo autor destaca que são

os processos do meio físico e/ou tecnológicos os responsáveis pela dinâmica imposta ao meio ambiente, provocando alterações continuamente.

A caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC) partiu do princípio da necessidade de se compreender melhor o funcionamento dos processos que controlam a dinâmica das águas ao longo da bacia, e os impactos que por ventura possam ser gerados e/ou acentuados pelo inadequado uso do solo sobre a quantidade e qualidade das águas superficiais, análises estas executadas como medida indireta da variabilidade espacial dos processos hidrológicos.

A análise dos atributos morfométricos tem como pressuposto estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes, de forma a contribuir para uma análise temporal do sistema, somando-se a isso a possibilidade de uso dos parâmetros como elementos de suporte à definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental.

A obtenção das informações relacionadas à apropriação da equação das chuvas intensas, e a determinação do tempo de concentração, teve como pressuposto avaliar o padrão de comportamento das chuvas intensas no interior da bacia e a determinação do tempo necessário, a partir do início de uma determinada chuva, para que toda a área da bacia hidrográfica passe a contribuir com água para a vazão que se estabelece em seu exutório (McCUEN, WONG & RAWLS, 1984).

Como análise final buscou-se a determinação da suscetibilidade à inundações através de uma análise descritivo-qualitativa dos múltiplos aspectos do ambiente como a geomorfologia, o tipo de solo, e a influência da cobertura vegetal. Considerando os dados existentes e gerados, a avaliação dos processos de inundações ao longo da BHRC foi baseada em métodos qualitativos, que englobaram um primeiro procedimento com análise geomorfológica de campo, e uma

segunda análise com avaliação baseada em mapa índice ou mapa paramétrico, para verificação e comparação dos resultados.

Com isso, pretende-se oferecer mais subsídios para a elaboração de um modelo de gestão ambiental em nível intermunicipal, no que diz respeito ao uso da água e do solo na Bacia do Ribeirão do Carmo.

2. A BACIA DO RIBEIRÃO DO CARMO (BRHC)

A Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC) é uma das cabeceiras da bacia do rio Doce e localiza-se nos municípios de Ouro Preto e Mariana em Minas Gerais. Pertence à bacia regional do rio Piranga e é parte integrante da Bacia do Atlântico Leste, tendo uma área de 321,60 km² e um perímetro de 139,22 km (Figura 1). Engloba parte do distrito sede do município de Ouro Preto, a totalidade do distrito sede do município de Mariana e os distritos de Passagem de Mariana, Bandeirantes, Monsenhor Horta e Furquim, que pertencem ao Município de Mariana – MG. A população residente ao longo da BHRC ultrapassa 120.000 habitantes (IBGE, 2014).

O contexto geológico corresponde a um segmento pertencente ao Cráton São Francisco Meridional, situada no extremo leste do Quadrilátero Ferrífero e posicionado, segundo CPRM (1993), na zona limítrofe entre duas importantes Províncias geológicas do escudo brasileiro, a Província Geotectônica São Francisco, a oeste, e a Província Geotectônica Mantiqueira, a leste. A Província Geotectônica São Francisco, que abrange a maior parte da área, reúne agrupamentos de idades e ambiências diversas, sendo que na área de Mariana ocorrem terrenos “granito-greenstone”, representados por uma sequência vulcano-sedimentar do Supergrupo Rio das Velhas, rochas granitóides do Complexo Santa Bárbara, a sequência clasto-química do Supergrupo Minas, a sequência predominantemente clástica do Grupo Itacolomi e as coberturas fanerozóicas terciárias e detríticas recentes, estas representadas por depósitos detríticos-lateríticos e aluviais. Já a Província Geotectônica Mantiqueira, ocorre em uma pequena faixa a leste da Bacia, reunindo gnaisses bandados do Complexo Mantiqueira e granulitos do Complexo Acaiaca.

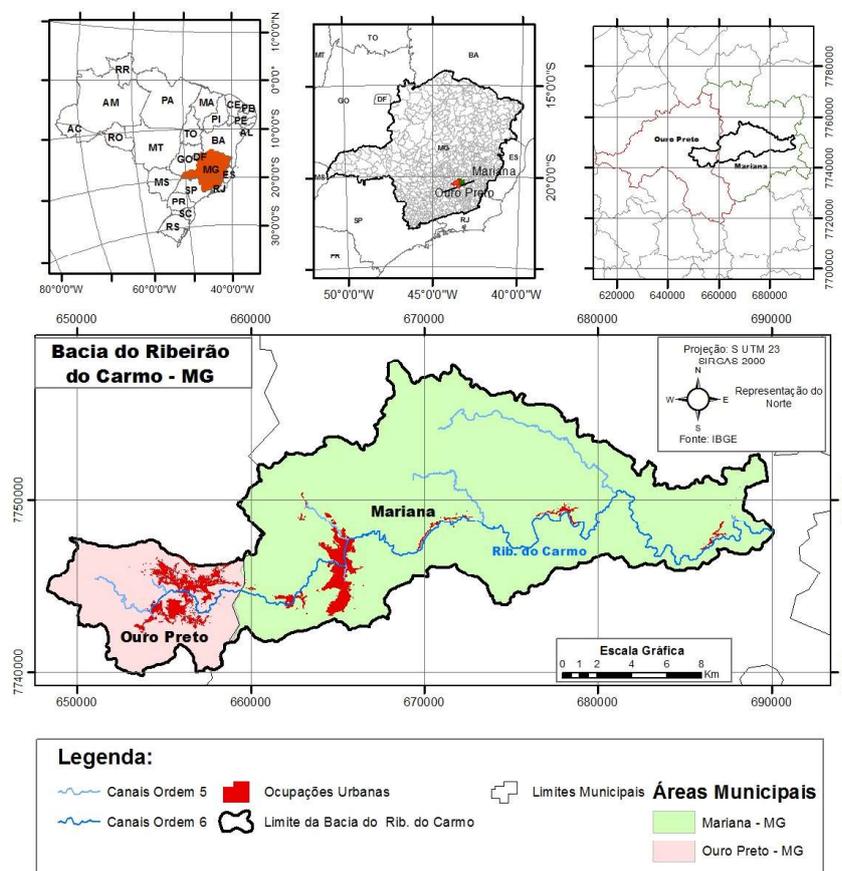


Fig. 1 – BRHC no contexto de Minas Gerais, com os limites municipais e a ocupação urbana.

Duas unidades geomorfológicas podem ser diferenciadas: o Quadrilátero Ferrífero e os Planaltos Dissecados. A primeira unidade é evidenciada nas cabeceiras, a oeste, onde o relevo é condicionado estruturalmente, com substrato rochoso composto por formações metassedimentares neoproterozoicas características do Quadrilátero Ferrífero (filitos, quartzitos, xistos, formação ferrífera bandada e dolomitos) e solos pouco espessos, predominando neossolos litólicos, cambissolos e afloramentos rochosos (CPRM, 1993). Neste setor o ribeirão é bem encaixado e com o leito mais declivoso. Os principais elementos da paisagem são a Serra do Itacolomi e a Serra de Ouro Preto, divisor de duas grandes bacias de drenagem regionais (rios das Velhas e Doce). As altitudes médias giram em torno de 1.400-1.600 m e o ponto culminante é o Pico do Itacolomi (1.772 m), na serra de mesmo nome. O controle estrutural na morfologia é marcante, e são descritos relevos tipo sinclinais suspensos e anticlinais esvaziados, além de cristas estruturais do tipo hogback. A segunda unidade ocupa espacialmente a porção centro-leste da bacia, tendo relevo ondulado a suave ondulado, com predomínio de solos mais espessos (argissolos e latossolos). A região se insere em um domínio morfoestrutural com exposição de rochas cristalinas, deformadas e deslocadas do embasamento, atingidas por sucessivos estágios de erosão e submetidos a processos intempéricos que produziram pacotes de alteração evoluídos (RADAMBRASIL, 1983). O intenso processo de dissecação fluvial foi responsável pela origem das formas de colinas e cristas com vales encaixados e/ou de fundo chato (CPRM, 1993). São mais frequentes pequenas planícies de inundação e quase não há saltos consideráveis ao longo do leito do ribeirão. Neste setor a drenagem ganha um padrão dendrítico e o curso principal recebe vários afluentes. Nessa unidade as altitudes são muito variáveis, oscilando entre 1.000 e 1.200 m nas cristas e 500-800 m nos vales.

Em relação ao uso do solo, as áreas urbanas das duas cidades localizam-se no setor centro-oeste da bacia. Nesta área a cobertura vegetal arbórea é mais preservada ocorrendo, também, campos de altitude, enquanto que a porção centro-leste mostra uma cobertura vegetal mais antropizada, com predomínio de

pastagens, plantações de eucalipto e vegetação arbustiva, com fragmentos de matas nos topos de morros.

O clima encontra-se sob o domínio da circulação do anticlone subtropical do Atlântico Sul, caracterizado pela ocorrência de ventos predominantemente na porção nordeste-leste (CETEC, 1983). A umidade da região é transportada pelos ventos de nordeste, tendo as Serras do Espinhaço e da Mantiqueira como um anteparo físico e dinâmico ao transporte de umidade disponível. Localmente, segundo a CPRM (1993) e seguindo a classificação climática de Köppen, descrevem-se dois tipos climáticos distintos (Cwa e Cwb). O primeiro (Cwa) predomina nas partes menos elevadas, compreendendo um clima úmido com verões quentes e pluviosidade média anual de 1.100 - 1.500 mm, estação seca curta e temperatura média anual entre 19,5 - 21,8 °C, enquanto o segundo (Cwb), predomina nas porções mais elevadas, caracterizando-se por verões mais brandos, temperatura média anual mais baixa (17,4 - 19,8 °C) e média do mês mais quente próxima a 22 °C. Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são os que registram as maiores precipitações.

Para a determinação do índice médio pluviométrico anual foram utilizadas grades pluviométricas com as médias anuais e mensais dos últimos 25 anos. Foram identificadas 49 estações pluviométricas em um raio de 40 km em relação aos limites da Bacia do Ribeirão com séries históricas completas (site hidroweb). Foram selecionadas 15 estações pluviométricas com registros de chuvas completos entre os anos de 1984 e 2009 com posterior interpolação dos dados (Figura 2).

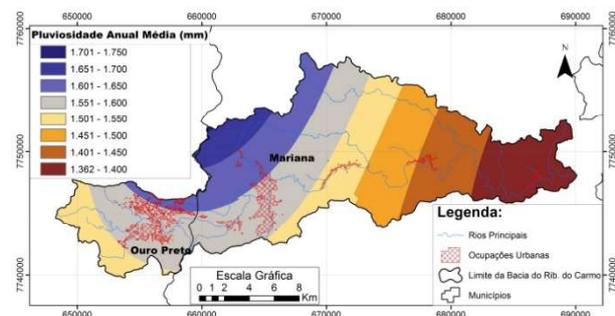


Fig. 2 – Carta de pluviosidade anual média da BHRC gerada através da interpolação das médias anuais de precipitação entre os anos de 1984 e 2009.

3. METODOLOGIA

Para a caracterização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo (BHRC) inicialmente buscou-se estabelecer as relações entre os parâmetros mensuráveis da bacia e os seus condicionantes, através da análise de um conjunto de parâmetros morfométricos. Estas análises foram complementadas com a avaliação do padrão de comportamento das chuvas intensas no interior da bacia, juntamente com a determinação do tempo de concentração. Em uma última etapa foi cartografada a suscetibilidade à deflagração de processos de inundação ao longo da BHRC, a partir da utilização de métodos qualitativos baseados nos atributos morfométricos e na análise geomorfológica, e na superposição e atribuição de pesos para mapas de fatores, associados ao conhecimento especialista de campo.

3.1 Análise dos Atributos Morfométricos da Rede de Drenagem

A análise dos atributos morfométricos da BHRC teve por objetivo principal a obtenção dos indicadores físicos que pudessem ser associados a outros estudos complementares relacionados ao diagnóstico do meio físico, como subsídio ao zoneamento geoambiental da bacia. Foram analisados vinte e três parâmetros para a bacia elencados a seguir:

- Ordem da Bacia, Área da Bacia, Perímetro da Bacia, Área do Círculo de Perímetro igual ao da Área Total da Bacia (A_c), Número de Canais (n), Comprimento do Canal Principal (L), Comprimento da Rede de Drenagem (Cr), Distância Vetorial entre os pontos extremos do canal principal (dv), Amplitude Altimétrica (H), Densidade de Drenagem (Dd), Extensão de Percurso Superficial (Eps), Coeficiente de Manutenção (Cm), Razão de Relevo (Rr), Razão de Relevo Relativo (Rrl), Razão de Bifurcação, Índice de Rugosidade (HD), Declividade Média da Encosta ($tg\theta$), Gradiente de Canais (Gc), Índice de Circularidade (Ic), Índice de Compacidade (kc), Índice de Sinuosidade (Is).

Para a determinação dos parâmetros envolvidos na caracterização da BHRC foram utilizadas as seguintes fontes e bases cartográficas compiladas ou geradas:

- Séries históricas de pluviosidade (25 anos) com

médias anuais e mensais da região, obtidas no site Hidroweb (hidroweb.ana.gov.br),

- Cartas geológicas do Quadrilátero Ferrífero (CODEMIG, 2005 - Mapas Geológicos de Ouro Preto e Mariana), na escala 1:50.000) e CPRM (1993), na escala 1: 100.000,

- Cartas topográficas do IBGE disponíveis na região na escala 1:50.000 (Folha Ouro Preto – SF-23-X-A-III-4, Folha Mariana - SF-23-X-B-I-3 e Folha Catas Altas - SF-23-X-B-I-1),

- Modelo digital de elevação, obtido pelo processamento da base topográfica,

- Informações obtidas em outros trabalhos da literatura especializada.

A rede hidrográfica da Bacia do Ribeirão do Carmo foi inicialmente obtida a partir das folhas topográficas 1:50.000 do IBGE (Folhas Ouro Preto, Mariana, Catas Altas, 1986). Entretanto, para a análise dos parâmetros morfométricos na BHRC optou-se pela interpretação das fotos aéreas na escala 1:25.000 (Esteio, 1986) de toda a área, que posteriormente foi vetorizada e corrigida através da correlação e sobreposição ao mosaico de 25 ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1987).

As bacias interiores que compõem a BHRC foram delimitadas segundo o ordenamento de cursos d'água proposto por Strahler (1957), mas considerando, também, os canais de drenagem perceptíveis nas fotografias aéreas na escala 1:25.000 interpretados da área (Esteio, 1986), que permitissem o escoamento linear das águas, o que inclui os canais de curso intermitente, pois estes canais constituem uma das importantes variáveis para o regime de fluxo das águas em uma bacia hidrográfica e são os mais suscetíveis às alterações.

3.2 Apropriação da Equação de Chuvas Intensas

Chuvas intensas são fenômenos naturais, em geral caracterizados por uma precipitação forte e contínua e de curta duração, que podem causar aumentos de vazões, produzindo inundações e/ou enchentes com amplos efeitos negativos como perdas humanas e materiais, interrupção de atividades econômicas e sociais nas áreas inundadas, contaminação das águas, proliferação das doenças de veiculação hídrica, aceleração do processo de erosão dos solos, etc.

Em estudos hidrológicos, além do

conhecimento das chuvas máximas observadas nas séries históricas, busca-se a previsão de precipitações máximas que possam vir a ocorrer com determinada frequência através da análise das observações das chuvas intensas durante um período de tempo representativo dos eventos extremos (Tucci, 2004).

Assim sendo, para que se torne possível a proposição de intervenções e ações preventivas, bem como o dimensionamento de sistemas de drenagem, vertedores, obras de proteção contra cheias e erosão hídrica, ente outros, é necessário o conhecimento das três grandezas que caracterizam uma precipitação: a intensidade, a duração e a frequência.

Nas análises das relações intensidade-duração-frequência das chuvas máximas, comumente é empregada a equação apresentada a seguir.

$$i = \frac{kT^m}{(t + t_0)^n} \quad (1)$$

onde:

- i representa a intensidade máxima média;
- t é a duração da chuva;
- T é o seu tempo de retorno;
- k , m , t_0 e n são os parâmetros que se deseja determinar com base nos dados pretéritos de chuva.

Muitos estudos têm sido desenvolvidos visando à determinação de equações IDF para diversos locais de Estados do Brasil, podendo-se citar: Minas Gerais (PINTO *et al.*, 1996; MELLO, C. R.; *et al.* 2003); Espírito Santo e Rio de Janeiro (SILVA, D. D. *et al.*, 1999); Tocantins (SILVA, D. D. *et al.*, 2003); Goiás (OLIVEIRA *et al.*, 2008), São Paulo (LIAZI, A. *et al.* 1994; GENOVEZ, A. M. & ZUFFO, A. C. 2000), Bahia (SILVA, D. D. *et al.* 2002), Pernambuco (SILVA, B. M., 2009), Rio Grande do Sul (ROBAINA, A. D. 1996), Santa Catarina (BACK, A. J. *et al.*, 2012; NERILO, N. *et al.* 2002).

Uma vez determinados estes parâmetros por análise de regressão, estabelece-se a equação que representa a relação intensidade-duração-frequência válida para a região de influência das estações pluviométricas estudadas. Entretanto, na maioria dos estudos ainda são escassos os

dados pluviométricos de longa duração, sendo que para essas localidades o método Chow-Gumbel tem sido utilizado de maneira eficiente para a determinação da relação intensidade-duração-frequência.

No entorno da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo existem 4 estações pluviométricas com registros de dados de longa duração (Tabela 1).

Tabela 1: Estações pluviométricas no entorno da BHRC e datas de início e fim de coleta de dados

Nome	Código	Início da coleta	Fim da coleta
Fazenda Água Limpa	2043056	01/01/1984	Dias atuais
Fazenda Paraíso	2043011	04/01/1941	Dias atuais
Acaiaca	2043009	03/01/1941	Dias atuais
Fazenda Ocidente	2043027	03/01/1967	Dias atuais

A estação pluviométrica Fazenda Paraíso, código 2043011, foi a escolhida para a apropriação da equação intensidade-duração-frequência de chuvas em decorrência de sua melhor localização e proximidade em relação a BHRC, bem como pelo fato de possuir um acervo significativo de anos com dados contínuos. Os valores diários de chuva foram obtidos no sítio oficial da Agência Nacional de Água (www.ana.gov.br). A metodologia de cálculo utilizada foi a proposta por Soprani e Reis (2007), sintetizada a seguir:

- 1 - Seleção das máximas precipitações anuais de 1 dia;
- 2 - Análise de frequências dos totais precipitados com ajuste da distribuição probabilística de Gumbel à série de máximas precipitações anuais de 1 dia, estimando as precipitações máximas anuais de 1 dia associadas a diferentes períodos de retorno;
- 3 - Conversão das máximas precipitações anuais de 1 dia, associadas a diferentes períodos de retorno, em precipitações máximas de 24 horas;
- 4 - Conversão das precipitações máximas de 24 horas, associadas a diferentes períodos de retorno, em precipitações máximas de durações menores. Para este trabalho foram consideradas

durações de precipitação de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos, 1, 6, 8, 10, 12 e 24 horas.

3.3 Determinação do Tempo de Concentração da BHRC

Complementando a caracterização da BHRC determinou-se, também, o tempo de concentração da bacia, que é o tempo que leva a sua área hidrologicamente mais remota para contribuir com o fluxo de água em seu exutório. Conhecer o tempo de concentração é essencial para a definição da vazão máxima a que está sujeita uma bacia.

Foram formuladas várias equações para o cálculo do tempo de concentração, com o intuito de resolver problemas práticos de engenharia. Por isto, a maior parte das equações possui caráter empírico e constituem basicamente equações de regressão, desenvolvidas a partir de preceitos estatísticos (SILVEIRA, 2005).

As fórmulas são obtidas, de modo geral, pelas características morfométricas da bacia hidrográfica como área, comprimento do talvegue, rugosidade do córrego ou canal e a declividade, podendo ser citadas, entre outras, as fórmulas de Ven te Chow, Kirpisch, Temez e Giandotti. determinação do tempo de concentração por meio de fórmulas empíricas está sujeita a imprecisões e incertezas por não considerar a variabilidade espacial e temporal da bacia.

Para o cálculo do tempo de concentração foram empregados os métodos de Temez, Doodge e Giandotti, desenvolvidos para bacias semelhantes à BHRC, considerando-se como valor final a média simples dos valores obtidos nestes três métodos.

O método de Temez (1978) é avaliado como o mais apropriado para bacias naturais de área de até 3.000 km² pelo IEP (2001). Este método leva em consideração o comprimento do talvegue principal e declividade média equivalente, conforme apresentado na equação a seguir:

$$tc = 0,3 \left(\frac{L}{I^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (2)$$

sendo:

Tc = tempo de concentração (horas);

L = comprimento do talvegue principal (km);

I = declividade média equivalente (%).

O método de Doodge (TUCCI, 1998) foi determinado a partir de dados de dez bacias rurais com áreas entre 140 e 930 km², supondo que seus parâmetros reflitam melhor condições de escoamento em canais. Este método leva em consideração a área da bacia hidrográfica e a declividade do talvegue principal, conforme apresentado na equação a seguir:

$$tc = 21,88 A^{0,41} S^{-0,17} \quad (3)$$

sendo:

Tc = tempo de concentração (minutos);

A = área da bacia (km²);

S = declividade do talvegue principal (m/m).

O método de Giandotti foi preconizado no Regulamento de Pequenas Barragens de Terra editado em 1973, em Portugal, sendo normalmente utilizado em bacias com áreas superiores a 300 km².

$$tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}} \quad (4)$$

onde:

Tc = tempo de concentração (horas);

A = área da bacia (km²);

L = comprimento do talvegue principal (km);

H = altura média da bacia (metros) = Altitude média

– Altitude mínima.

3.4 Suscetibilidade à Inundação

No Brasil, vários são os processos geodinâmicos que limitam a ocupação territorial. Dentre os fenômenos geológicos que mais danos e prejuízos causam ao país e à população, destacam-se como principais as inundações/enchentes e os movimentos em encostas de diversos tipos.

A tradução cartográfica da disposição dos terrenos, conforme sua condição de desenvolver determinados processos resulta na Carta Geotécnica de Suscetibilidade, ou seja, aquela que reflete a variação (em forma e grau) da capacidade dos terrenos em desenvolver

determinado fenômeno. Cartas de suscetibilidade podem subsidiar importantes instrumentos de planejamento tais como: os planos diretores e suas respectivas revisões, planos de ordenamento territorial, planos metropolitanos, zoneamentos ambientais, lei de uso e ocupação do solo, gestão de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológico-econômicos, entre outros.

Para a BHRC, análises de suscetibilidade a processos de inundação foram somados à análise dos atributos morfométricos, à apropriação da equação de chuvas intensas e à determinação do tempo de concentração. As metodologias aplicadas foram qualitativas e consideraram o seguinte conjunto de dados:

- Séries históricas de pluviosidade (25 anos) com médias anuais e mensais da região, obtidas no site Hidroweb (hidroweb.ana.gov.br),
- Cartas geológicas do Quadrilátero Ferrífero (CODEMIG, 2005 - Mapas Geológicos de Ouro Preto e Mariana), na escala 1:50.000) e CPRM (1993), na escala 1: 100.000,
- Cartas topográficas do IBGE disponível na região na escala 1:25.000, 1:50.000 (Folha Ouro Preto – SF-23-X-A-III-4, Folha Mariana - SF-23-X-B-I-3 e Folha Catas Altas - SF-23-X-B-I-1),
- Rede hidrográfica da Bacia do Ribeirão do Carmo obtida a partir das Folhas topográficas 1:50.000 e 1:25.000 do IBGE (Folhas Ouro Preto, Mariana, Catas Altas, 1986).
- Fotos aéreas na escala 1:25.000 (Esteio, 1986)
- 25 ortofotos na escala 1:10.000 (CEMIG, 1987).
- Mapa pedológico gerado para este estudo;
- Mapa geomorfológico gerado para este estudo;
- Mapa de uso do solo gerado para este estudo;
- Histórico de ocorrências de inundações gerado neste estudo;
- Imagem orbital do satélite ASTER 2006.
- Caracterização morfométrica da bacia gerada nesse estudo.

Os métodos qualitativos são baseados principalmente na experiência dos técnicos que os executam, a partir da combinação de diferentes mapas e dados referentes a diversos parâmetros importantes para a caracterização dos terrenos e definição das áreas de atingimento de cheias. Assim, o primeiro procedimento aplicado na BHRC foi baseado fundamentalmente na carta geomorfológica gerada neste estudo para a bacia,

na caracterização morfométrica, no histórico de áreas de atingimento das inundações a partir dos registros de Defesa Civil e Corpo de Bombeiros, em análises envolvendo fotointerpretação, e em trabalhos de campo para o reconhecimento e validação das áreas suscetíveis à inundação.

Uma segunda abordagem para análise da suscetibilidade executada foi modificada de Santos (2010), através da combinação, superposição e atribuição de pesos para mapas de fatores que influenciam na suscetibilidade, de acordo com a experiência do pesquisador em outras áreas similares.

A sequência de análises levou em consideração:

- 1 – Reclassificação das variáveis que compõem o modelo de inundação, sendo aqui considerados, o mapa de altitudes, de declividades, de tipos de solo e do uso do solo;
- 2 – Determinação dos pesos estatísticos para as variáveis de entrada;
- 3 – Espacialização da suscetibilidade a inundação.

Para reclassificação das variáveis foram estabelecidas notas para o grau de suscetibilidade que variam entre zero (menos suscetível) a dez (mais suscetível). Assim, tem-se as notas propostas para cada variável de entrada considerando as especificidades da BHRC (Tabela 2).

Tabela 2: Temas utilizados na geração do modelo de suscetibilidade e respectivos pesos

Altitude	Nota	Declividade	Nota
408- 508 (m)	10	0-3 (%)	10
508-608 (m)	10	3-8 (%)	8
608- 708 (m)	9	8-20 (%)	5
708-808 (m)	9	20- 45 (%)	3
808- 1303 (m)	3	45- 75 (%)	1
1303 – 1649 (m)	2	> 75 (%)	1

Uso do Solo	Nota	Tipos de Solo	Nota
Afloramento Rochoso	7	Afloramento Rochoso	10
Solo Exposto/ Pastagem	9	Neossolos Litólicos	10
Silvicultura	2	Neossolos Flúvicos	10
Cobertura Vegetal	1	Cambissolos	3
Mineração	7	Argissolos Latossolos	4
Área Urbana	7		

O passo seguinte foi a determinação dos pesos estatísticos a partir da aplicação do método AHP, proposto por Saaty (1977). Neste, a matriz de comparação par a par permite definir

linearmente a hierarquia de importância entre os fatores altitude, declividade, uso do solo e tipo de solo conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Matriz de comparação pareada

Fatores	Tipo de Solo	Uso do Solo	Altitude	Declividade	Pesos
Tipo de Solo	1/16= 0,625	0,33/9,33 = 0,0357	0,20/4,53 = 0,0441	0,14/ 1,68 = 0,0852	0,0553
Uso do Solo	3/16= 0,1875	1/ 9,33 = 0,1075	0,33/ 4,53 = 0,0735	0,20/ 1,68 = 0,1193	0,1175
Altitude	5/16= 0,3125	3/9,33 = 0,3214	1/ 4,53 = ,2206	0,33/ 1,68 = 0,1988	0,2622
Declividade	7/16= 0,4375	5/9,33 = 0,5357	3/4,53= 0,6618	1/1,68 = 0,5966	0,5650

Fonte: Santos (2010).

Para efeito de validação dos pesos obtidos foi necessário calcular a razão de consistência, onde:

$$RC \text{ (Razão de Consistência)} = IC / IR,$$

IR – Índice aleatório (tabela x),

IC – Índice de Consistência,

n = número de variáveis que corresponde ao

número de colunas ou de linhas,

max = autovetor calculado por:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{w_i} \quad (5)$$

Em que:

$[Aw]_i$ = matriz resultante dos produtos da matriz de comparação pareada pela matriz dos pesos calculados (W_i).

A classificação proposta para a susceti-

bilidade à inundação foi a seguinte:

- Baixa a Inexistente Suscetibilidade,
- Média Suscetibilidade,
- Alta Suscetibilidade.

4. RESULTADOS

A bacia do Ribeirão do Carmo foi reclassificada em bacias interiores com cursos d'água de ordem 3 e superior a esta, para visualização de suas bacias de maior contribuição (Figura 3). A análise dos atributos morfométricos da BHRC teve por objetivo principal a obtenção dos indicadores físicos que pudessem ser associados a outros estudos complementares relacionados ao diagnóstico do meio físico, como subsídio ao zoneamento geoambiental da bacia. Foram analisados vinte e três parâmetros para a BHRC sintetizados na Tabela 4 a seguir:

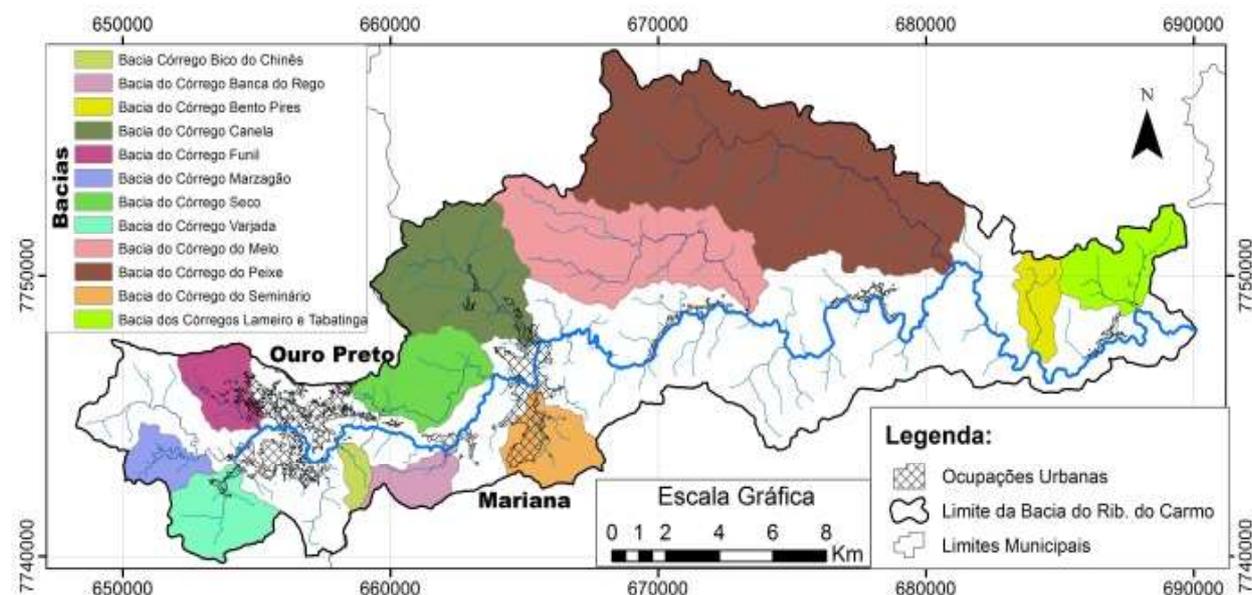


Fig. 3 – Bacia do Ribeirão do Carmo e suas bacias interiores de ordem 3, 4 e 5.

Tabela 4: Parâmetros morfométricos obtidos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo

Parâmetro	Resultado	Parâmetro	Resultado
Ordem da Bacia	6	Extensão de Percurso Superficial (Eps)	0,0934
Área da Bacia	321,60 km ²	Coefficiente de Manutenção (Cm)	187,91
Perímetro da Bacia	139,22 km	Razão de Relevô (Rr)	1,627
Área do Círculo de Perímetro igual ao da Área Total da Bacia (Ac)	1.542,475 km ²	Razão de Relevô Relativo (Rrl)	0,87
Número de Canais (n)	5.388	Razão de Bifurcação	3,61
Comprimento do Canal Principal (L)	74.968,314 m	Índice de Rugosidade (HD)	228,03 m/km
Comprimento da Rede de Drenagem (Cr)	1.718,82 km	Declividade Média da Encosta (tg θ)	20,52%
Distância Vetorial entre os pontos extremos do canal principal (dv)	41.821,748 m	Gradiente de Canais (Gc)	1,27%
Amplitude Altimétrica (H)	1.220,0 m.	Índice de Circularidade (Ic)	0,208
Densidade de Drenagem (Dd)	5,35 km/km ² ,	Índice de Compacidade (k _c)	2,17
Densidade Hidrográfica (Dh)	16,75 canais/ km ² .	Índice de Sinuosidade (Is)	1,792
Razão de Textura (T)	46,61 Nt/km		

Para a apropriação da Equação das Chuvas Intensas na Tabela 5 tem-se as precipitações máximas anuais medidas na estação Fazenda Paraíso entre os anos 1942 e 2013.

Na Tabela 6 tem-se as precipitações máximas anuais calculadas de 1 dia associadas a diferentes períodos de retorno, resultado do

ajuste da distribuição probabilística de *Gumbel* à série de máximas precipitações anuais de 1 dia.

Na Tabela 7 estão discriminadas as precipitações máximas associadas aos períodos de retorno e às durações entre 5 minutos e 24 horas.

Tabela 5: Precipitações máximas anuais (mm) medidas na estação fazenda paraíso entre os anos 1941 e 2013

Ano	Máx.	Ano	Máx.	Ano	Máx.	Ano	Máx.	Ano	Máx.	Ano	Máx.
1941	-	1954	56,4	1967	86,6	1980	61,8	1993	57,8	2006	62,1
1942	54,6	1955	96,6	1968	72,4	1981	60,4	1994	122,2	2007	62,9
1943	73,2	1956	87,5	1969	105	1982	74,2	1995	82,4	2008	100,4
1944	75,7	1957	95,0	1970	83,4	1983	94,0	1996	78,4	2009	96,0
1945	84,6	1958	93,9	1971	55,8	1984	70,2	1997	106,4	2010	88,8
1946	46	1959	98,4	1972	99,4	1985	105,0	1998	52,6	2011	114,5
1947	68,6	1960	96,8	1973	82,8	1986	75,2	1999	79,6	2012	125
1948	114,5	1961	84,2	1974	81,2	1987	84,6	2000	115,5	2013	93,8
1949	73,6	1962	81,8	1975	66,8	1988	82,4	2001	50,7		
1950	82	1963	22,2	1976	56,6	1989	61,6	2002	68,9		
1951	125	1964	122,2	1977	86,2	1990	80,2	2003	-		
1952	110,8	1965	52,8	1978	54,8	1991	84,2	2004	161,2		
1953	94,4	1966	122	1979	83,4	1992	100,3	2005	83,8		

Tabela 6: Precipitações máximas anuais de 1 dia associadas a diferentes períodos de retorno para a estação pluviométrica fazenda paraíso

Período de retorno (anos)	Precipitação máx. anual (mm)
2	80,33
5	102,73
10	125,94
25	136,31
50	150,21
75	158,29
100	164,01

Tabela 7: Precipitações máximas (em mm), para a estação pluviométrica fazenda paraíso, associadas a diferentes períodos de retorno e durações

Dur.	Período de Retorno						
	2	5	10	25	50	75	100
24h	91,6	117,1	143,5	155,3	171,2	180,4	186,9
12h	77,8	99,5	122,0	132,0	145,5	153,3	158,9
10h	75,1	96,0	117,7	127,4	140,4	147,9	153,3
8h	71,4	91,3	111,9	121,2	133,5	140,7	145,8
6h	65,9	84,3	103,3	111,8	123,2	129,9	134,6
1h	38,4	49,2	60,3	65,2	71,9	75,7	78,5
30min	28,4	36,4	44,6	48,3	53,2	56,0	58,1
25min	25,9	33,1	40,6	43,9	48,4	51,0	52,8
20min	23,0	29,4	36,1	39,1	43,1	45,4	47,0
15min	19,9	25,4	31,2	33,8	37,2	39,2	40,6
10min	15,3	19,6	24,1	26,0	28,7	30,2	31,3
5min	9,6	12,3	15,1	16,4	18,1	19,0	19,7

A partir dos dados gerados tornou-se possível determinar as curvas intensidade x duração para diferentes períodos de retorno da BHRC (equação 6), com base nos dados da estação pluviométrica Fazenda Paraíso (Figura 4).

$$i = \frac{17,426T^{0,1278}}{(t+12)^{0,759}} \tag{6}$$

sendo:

i = intensidade da chuva em mm/min;

T = Tempo de retorno, em anos;

t = Tempo de duração, em minutos.

Em relação ao cálculo do Tempo de Concentração da seção do Ribeirão do Carmo, a Tabela 8 sintetiza os resultados obtidos com a correlação dos dados morfométricos (área da bacia, comprimento do talvegue principal, declividade média equivalente, declividade do talvegue principal e altura média da bacia), e as metodologias de Temez (1978), Doodge (TUCCI, 1998) e Giandotti.

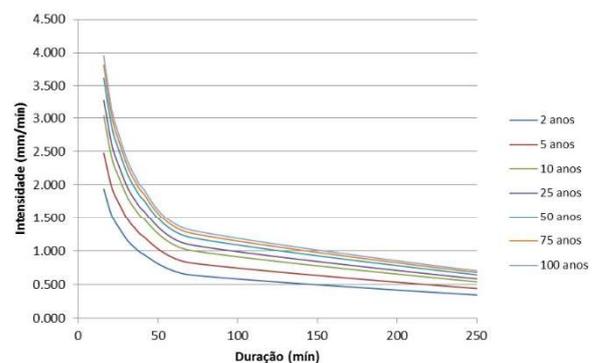


Fig. 4 - Curvas intensidade x duração de chuva para diferentes períodos de retorno na estação pluviométrica Fazenda Paraíso.

Tabela 8: Resultado do cálculo do tempo de concentração da bacia do ribeirão do Carmo

Método	Tempo de Concentração (minutos)
Temez	540,621
Doodge	491,35
Giandotti	470,42
Média	500,79

Já a avaliação dos processos inundações ao longo da BHRC, considerando o conjunto de dados e bases disponíveis e geradas, as análises baseadas em métodos qualitativos, englobaram um primeiro procedimento com análise geomorfológica, e uma segunda análise com avaliação baseada em mapa índice ou mapa paramétrico.

A Figura 5 retrata a suscetibilidade obtida da BHRC tomando-se como base a análise geomorfológica, a caracterização morfométrica da bacia, e o histórico de áreas de atingimento das inundações.

A Figura 6 retrata os resultados obtidos

para a análise da suscetibilidade à inundações para a BHRC com a aplicação da análise AHP.

Para esta última análise o valor obtido para a Razão de Consistência foi inferior a 0,10 validando os pesos estatísticos propostos para a geração do mapa de suscetibilidade a inundações da BHRC, conforme a seguinte álgebra matemática:

$$\text{Suscetibilidade} = 0,5650 (\text{declividade}) + 0,2622 (\text{altitude}) + 0,1175 (\text{uso do Solo}) + 0,0553 (\text{tipo de Solo}). \quad (7)$$

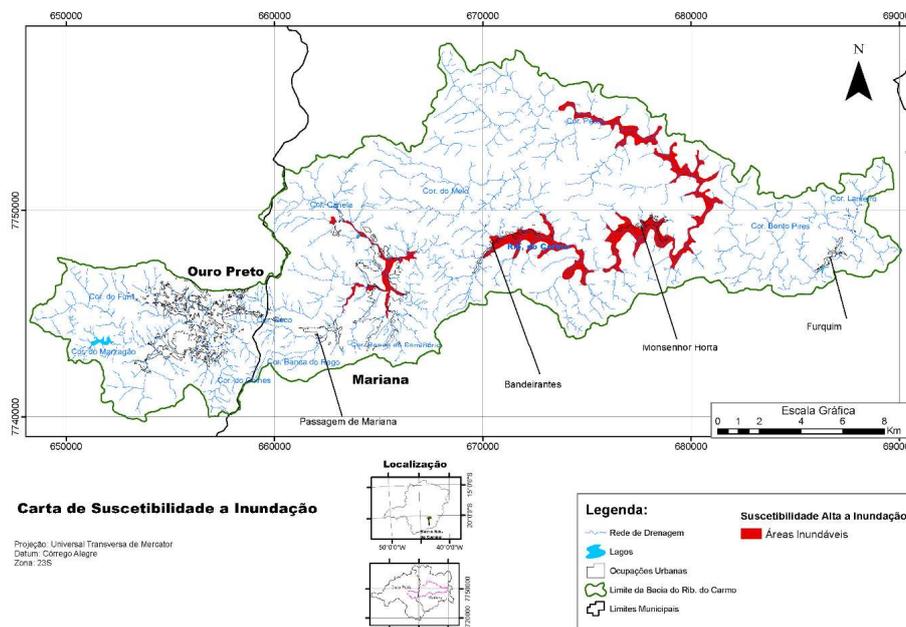


Fig. 5 – Carta de Suscetibilidade a Inundações da BHRC.

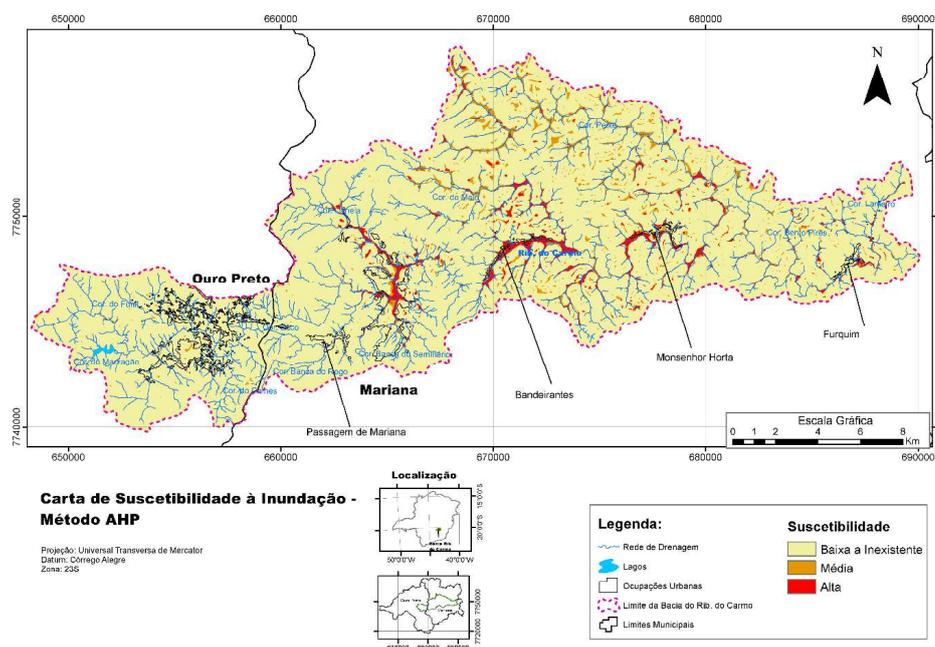


Fig. 6 – Carta de Suscetibilidade a Inundações da BHRC – Análise AHP.

5. DISCUSSÃO

Observando-se os índices morfométricos descritos, ressalta-se a necessidade de se analisar os resultados de forma correlacionada ao contexto geológico e, principalmente, estrutural da área de estudo. Partindo desse princípio, o fato de um relevo, cuja diferença de cota chega a 1.220,0 m, ser classificado como suave é justificado pela presença dos dois patamares presentes na região (níveis de base locais) relacionados a transição entre os terrenos do Quadrilátero Ferrífero na porção oeste, com os planaltos dissecados da porção centro-leste, inseridos em um domínio morfoestrutural com exposição de rochas cristalinas, deformadas e deslocadas do embasamento, atingidas por sucessivos estágios de erosão. Esses patamares (quebras no relevo) são responsáveis pela existência de áreas mais suscetíveis à deposição sedimentar, (trechos do distrito sede de Mariana e dos distritos de Bandeirantes e Monsenhor Horta) e outras, onde predomina a dissecação dos terrenos associada ao aumento da declividade dos cursos d'água e ao aparecimento de canais encaixados (trechos do Distrito sede de Ouro Preto, Passagem de Mariana e Furquim). O encaixamento da drenagem está intimamente ligado a feições estruturais como fraturas, falhas e contatos geológicos, que exercem o controle sobre essas porções da bacia hidrográfica.

A densidade de drenagem obtida de 5,35 km/km² e a densidade hidrográfica de 16,7 canais/km retrata a grande capacidade da bacia de gerar novos cursos d'água e a elevada capacidade de escoamento superficial no terreno. Entretanto, ao mesmo tempo em que na BHRC tem-se um elevado número de canais de drenagem, principalmente na porção oeste associada ao substrato do quadrilátero ferrífero, tem-se mediante a quantidade de canais disponíveis para o escoamento superficial, um subaproveitamento desta condição natural, o que permitiria uma melhor captação e armazenamento de água frente aos períodos de estiagem, como o enfrentado nos anos de 2014 e 2015.

A sinuosidade obtida de 1,79 sugere uma condição transicional entre canais regulares e irregulares, mas com tendência para classificar os canais como tortuosos.

Entre os parâmetros morfométricos

e morfológicos do relevo obtidos, os associados à concentração de rugosidade topográfica ofereceram importantes subsídios à análise geomorfológica, assim como para o entendimento, identificação e/ou indicação de áreas potencialmente instáveis ambientalmente, reiterando as maiores fragilidades para as bacias do córrego Funil, do córrego Marzagão, do córrego da Banca do Rego, do córrego do Seminário e do córrego Canelas.

O índice de concentração de rugosidade representou o potencial de escoamento relacionado às encostas (ao relevo), ao passo que a concentração de gradiente de canais expressou o elevado potencial de escoamento da rede de drenagem.

A determinação do índice de circularidade da BHRC refletiu sua forma mais alongada, favorecendo um melhor escoamento. Isso indica que a precipitação pluviométrica sobre a bacia hidrográfica se concentra em diferentes pontos, contribuindo para amenizar a influência da intensidade de chuvas. Entretanto, os registros históricos indicam a ocorrência de processos de inundação em parte da sede do município de Mariana e nos distritos de Bandeirantes e Monsenhor Horta, onde extensas planícies aluvionares vem sendo ocupadas. Em relação ao trecho com histórico de inundação no distrito sede do município de Mariana destaca-se a influência da bacia do Córrego Canelas, cujo índice de circularidade (0,56) aponta para um menor favorecimento ao escoamento e uma maior concentração das águas e tendência de cheias em seu exutório, que é coincidente com o trecho do Ribeirão do Carmo com maior frequência de registro de processos de inundação (Bairro São Sebastião / Vila do Sapo).

A compartimentação dos parâmetros morfométricos calculados para a caracterização da BHRC, para as bacias interiores de ordem 3, 4 e 5 possibilitará também, em outros estudos, uma avaliação comparativa entre o todo (BHRC) e as partes (bacias interiores de ordem, 3, 4 e 5), considerando os processos hidrogeomorfológicos; a elaboração de um documento cartográfico que delimite regiões com padrões hidrológicamente homogêneos, com relação ao potencial de escoamento superficial; e proposições mais específicas para a gestão ambiental da BHRC.

A caracterização das chuvas intensas a partir do estudo das precipitações máximas constitui-se um dos principais caminhos para estimativa da vazão de pico de uma bacia, já que a disponibilidade de longas séries de precipitações é, em geral, muito mais frequente que a de vazões.

A determinação do tempo de concentração da BHRC, além de auxiliar na definição da vazão máxima a que está sujeita uma bacia, também contribuirá para a formulação de ações preventivas envolvendo, principalmente, as áreas ocupadas da sede do município de Mariana e dos distritos de Bandeirantes e Monsenhor Horta, onde a recorrência de processos de inundação é conhecida, visto que chuvas com duração iguais ou maiores que o tempo de concentração da bacia indicarão que quando o volume precipitado nas regiões mais distantes chegarem à foz ou aos pontos de interesse, ele vai se somar com o volume precipitado nestas regiões, causando uma cheia maior do que a de uma chuva mais curta.

Outra contribuição relacionada à determinação das chuvas intensas e tempos de concentração na caracterização da BHRC é o auxílio no desenvolvimento e implementação de sistemas de monitoramento de desastres naturais propondo-se, no caso desta bacia, a melhoria do sistema de monitoramento pluviográfico ao longo do seu território e entorno, através da instalação de pluviógrafos, bem como o monitoramento fluviométrico por meio da instalação de réguas fluviométricas e de um linígrafo de pressão automático. Esta instrumentação, além de permitir no futuro melhores refinamentos dos dados gerados em relação às chuvas intensas e tempo de concentração contribuirão para a obtenção de dados, em tempo real, para o gerenciamento do perigo/risco integrado a um sistema de alerta à população, bem como dar subsídios para previsão de cheias em cenários futuros de uso do solo, de forma a nortear a expansão urbana do território municipal.

Em relação às análises de suscetibilidade, ao mesmo tempo em que o emprego de metodologias qualitativas pode auxiliar na avaliação de grandes áreas e bacias, o rigor necessário em relação as escalas e qualidade dos dados de entrada é fundamental. Um dos principais empecilhos em relação a utilização da metodologia proposta com análise AHP refere-se

à obtenção da *layer* “tipo de solo” que geralmente encontra-se em escalas muito pequenas. Deve-se, também, avaliar a possibilidade de utilização de amplitudes e não de altitudes na composição algébrica, a partir da utilização de algorítmicos descritores do terreno, que meçam a diferença altimétrica entre qualquer ponto da grade do Modelo Digital de Elevação (MDE) e o respectivo ponto de escoamento na drenagem mais próxima, mas condicionado às limitações e incertezas trazidas pelas escalas 1:25.000 e 1:50.000. Já a metodologia de análise da inundação tomando-se como subsídio a geomorfologia, históricos de cheias e atingimentos, e trabalhos de campo, embora permita uma rápida delimitação dos trechos suscetíveis, esbarra nas limitações impostas pela escala, principalmente nos trechos já ocupados. Os dois métodos de análise foram e devem ser aplicados para diagnósticos e estudos voltados ao ordenamento dos territórios em um primeiro nível de análise, enquanto que para a minimização dos perigos e/ou convivência mais segura devem estar subsidiados por estudos na escala de detalhe que envolva a modelagem hidrológica e a definição dos períodos de recorrência.

6. CONCLUSÕES

A caracterização de bacias hidrográficas por meio de análises morfométricas contribui para uma melhor compreensão dos processos hidrogeomorfológicos ocorrentes, mesmo que sua estruturação seja complexa, ou que já tenha sofrido intervenções antrópicas significativas. A análise morfométrica da BHRC, além de agregar informações importantes para um diagnóstico ambiental mais amplo da área integral de estudo, já demonstrou a necessidade de estudos específicos mediante o comportamento diferenciado entre as duas unidades geomorfológicas existentes: o Quadrilátero Ferrífero e os Planaltos Dissecados. Soma-se aqui as alterações dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem em consequência das intervenções antrópicas, principalmente a expansão dos centros urbanos na porção centro-oeste da bacia.

Os dados gerados atingiram o objetivo de se realizar uma primeira caracterização da BHRC e auxiliarão estudos posteriores visando à determinação do perigo/risco de inundação, a partir da geração de modelos hidrológicos que

forneçam como variáveis de saída arquivos com as cotas de inundação para as vazões de projeto (tempo de retorno de 10, 20, 30, 50 e 100 anos) o que, conseqüentemente, possibilitará a construção de planos preventivos e de contingência visando a minimização dos impactos decorrentes da deflagração de processos de inundação.

Entretanto, os resultados finais das análises da suscetibilidade à inundação e as respectivas cartas geradas já podem subsidiar as Prefeituras Municipais de Mariana e Ouro Preto, no que se refere ao trecho compreendido pela BHRC, quando da revisão de seus planos diretores, de forma a contribuir para um melhor ordenamento do território. As áreas classificadas como de suscetibilidade média e alta à inundação, já ocupadas, podem orientar a geração de novos estudos na escala de detalhe, para a determinação do perigo e risco. Já as áreas classificadas como de suscetibilidade média e alta à inundação, ainda não ocupadas, podem ser alvo da geração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, o que contribuiria diretamente para a proposição de uma expansão urbana mais adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 03 de novembro 2014.

BACK, ÁLVARO J.; OLIVEIRA, JOSÉ L. R.; HENN, ALAN. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 391 – 398. 2012.

CETEC. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte. 1v. (série de publicações técnicas, 10). 1983.

COLLARES, E. G. **Avaliação de Alterações em Redes de Drenagem de Micro Bacias como Subsídio ao Zoneamento Geoambiental de Bacias Hidrográficas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivarí - SP**. Escola de Engenharia de São Carlos/USP, Doutorado, 194p. 2000.

CPRM. **Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-XB-1. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000**. Org. por Orivaldo Ferreira Baltazar e Frederico Ozanam Raposo. Brasília, DNPM/CPRM. 196 p. 1993.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas Intensas no Estado de São Paulo: Estudo Existente e Análise Comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. ABRH. V. 5, n.º. 3, pg. 45-58. Porto Alegre/RS. 2000.

IEP. **Manual de drenagem superficial em vias de comunicação**. Lisboa: Instituto de Estradas de Portugal. 2001.

IBGE. **Censo demográfico brasileiro**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2014. https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/estimativa_dou.shtm

LANNA, A. E. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos**. Brasília, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Coleção meio ambiente), 171 p. 1995.

LIAZI, A. **Manual de Cálculo das Vazões Máximas, Médias e Mínimas nas Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo**. 1994.

McCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. Estimating urban time of concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, vol. 110, n.7, p. 887-904, 1984.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, M. S. “Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.121-128. 2003.

NERILO, N.; MEDEIROS, P. A.; CORDERO, A. **Chuvas intensas no Estado de Santa Catarina. Florianópolis**. Editora da UFSC; Blumenau: Editora da FURB. 156 p. 2002.

OLIVEIRA, L. F. C. ANTONINI, J. C. A.; FIOREZE, A. P.; SILVA, M. A. S. “Métodos Para Estimativa da Precipitação Máxima para o Estado de Goiás”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.6, p.620–625. 2008.

- PINTO, F. A.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F.; ALVES, A. R.; CECON, P. R. Estimativa de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais utilizando registros diários. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 2, p. 8-21. 1996.
- RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais**. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL. v. 32. 775p. 1983.
- ROBAINA, A. D. “Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Vol 4, Nº 2, pp 95-98. 1996.
- SAATY, T. L. A. 1977. Scaling method for priorities. In hierarchical structures. **Journal of Mathematical psychology**. 15. P. 234 – 281.
- SANTOS, A. R. 2010. ArcGis 9.3 total: aplicação para dados espaciais. Alegre – ES. CAUFES. 184p.
- SILVA, B. M. “**Chuvas intensas em localidades do Estado de Pernambuco**”. Dissertação de Mestrado. PPGEC/UFPE, 116 p. 2009.
- SILVA, D. D. da; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. Equações de Intensidade-Duração-Frequência da Precipitação Pluvial para o Estado de Tocantins. **Revista Engenharia na Agricultura**. Viçosa. V. 11, n.1-4. Jan-Dez. 2003.
- SILVA, D. D. da; GOMES FILHO, R. R.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F. de. Chuvas intensas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 362-367. 2002.
- SILVA, D. D. da; PINTO, F. R. L.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A. Estimativa e espacialização dos parâmetros da equação de intensidade-duração-frequência da precipitação para o Rio de Janeiro e o Espírito Santo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 3, p. 11-21. 1999.
- SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, n. 10. P. 5-29. 2005.
- SOPRANI, M. A. S; REIS, J. A, T. Proposição de equações de intensidade-duração-frequência de precipitações para a bacia do rio Benevente, ES. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, n.2, p. 18-25, 1. 2007.
- STRAHLER A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**. 63(10):1117- 1142. 1952.
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed morphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, 38: 913-920. 1957.
- TEMEZ, J. R. Calculo hidrometeorológico de caudales máximos em pequenas cuencas naturales. Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU). **Direccion General de Carreteras**, N. 12. P. 1-111. 1978.
- TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 669p. 1998.
- TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH,. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4). 2004.