

INFLUÊNCIA DE FEIÇÕES GEOLÓGICAS NA MORFOLOGIA DA BACIA DO RIO DO TANQUE (MG) BASEADA NO ESTUDO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E ANÁLISE DE PADRÕES DE LINEAMENTOS

JÚLIA MARIA DE PAULA ALVES & PAULO DE TARSO AMORIM CASTRO

Abstract *THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL FEATURES ON THE TANQUE RIVER DRAINAGE BASIN MORPHOLOGY BASED ON MORPHOMETRIC PARAMETERS STUDY AND LINEAMENT PATTERN ANALYSIS* The Tanque River basin, left branch of the Santo Antônio River, middle Doce River valley, has channels and channel segments geologically controlled by faults and lithological contacts. The use of field work, aerial photographs, geological and topographic maps show that lineament patterns and morphometric parameters point to the control of the drainage system by NW-SE and NE-SW faults. The NW-SE faults control the drainage while NE-SW faults seems to be responsible for the sediment retention areas marked by local base water level and meandering pattern of the channels.

Keywords: basin, morphometric parameters, lineament patterns, Tanque River

Resumo A bacia do rio do Tanque, afluente da margem esquerda do rio Santo Antônio, médio vale do rio Doce, exhibe atualmente canais e segmentos de canais controlados geologicamente por falhas e contatos entre litologias. Através da integração de dados levantados em observações de campo, análise de fotografias aéreas, mapas geológicos e topográficos, análise de parâmetros morfométricos e estudos de padrões de lineamentos constatou-se que a área da bacia apresenta falhas geológicas orientadas segundo NW-SE e NE-SW. As falhas de direção NW-SE controlam a maior parte dos canais da rede de drenagem, os quais ocorrem geralmente encaixados, e os de direção NE-SW, além de controlarem uma pequena parte dos canais, são os principais responsáveis pelos barramentos presentes na bacia, os quais condicionam a presença de níveis de base locais ocasionando a retenção de sedimentos e conseqüente meandramento dos canais. Em geral, as falhas e os contatos entre as unidades litológicas, configuram-se como os fatores principais no modelado da

INTRODUÇÃO O relevo do globo terrestre resulta da interação entre processos tectônicos, intempéricos, pedogênicos e os materiais rochosos envolvidos. Para investigar as características das diversas formas de relevo, as bacias hidrográficas se configuram como feições importantes, principalmente no que se refere aos estudos de evolução do modelado da superfície terrestre. Entretanto, a maioria dos trabalhos científicos à cerca de bacias hidrográficas evidenciam qualitativamente os aspectos de forma o que, em geral, é insuficiente para a identificação de homogeneidades, no que diz respeito aos fatores que influenciam as formas de relevo. Assim, é evidente a necessidade do emprego de métodos quantitativos para estudos desta natureza.

Em estudos das interações entre os processos, sob o ponto de vista quantitativo, utiliza-se o método da análise morfométrica através dos seguintes parâmetros: relação de relevo, densidade hidrográfica e densidade de drenagem, relacionados à forma da bacia; coeficiente de manutenção, ângulo de junção e gradiente de canais, caracterizando os componentes da rede hidrográfica e índice de circulação, índice de bifurcação e índice de sinuosidade que são parâmetros combinados, dentre outros. A combinação dos diversos dados permite a diferenciação de áreas homogêneas. Estes parâmetros podem revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais. Em outras áreas, tais parâmetros podem perder a

expressão, exibindo indicadores físicos que se inteiram de modo diverso.

Historicamente, os primeiros parâmetros morfométricos foram definidos por Zernitz (1932) e Horton (1946). Na década de cinquenta novos parâmetros foram definidos, conforme apresentado nos estudos de Freitas (1952), Strahler (1952, 1956), Schumm (1956), Lubowe (1964), Tolentino *et al.* (1965), Christofletti (1969, 1970, 1977) e outros. Christofletti (1969) desenvolveu um trabalho bastante completo integrando toda a metodologia apresentada, até então, sobre a análise morfométrica de bacias hidrográficas.

Estudos geomorfológicos mais antigos (décadas de 1940 e 1950) enfatizavam, essencialmente a relação entre a estrutura da bacia e a morfologia da rede de drenagem, conforme os trabalhos de Holmes (1944), Cotton (1948), King (1951, 1962) e Monkhouse (1954). A partir dos anos sessenta, maior atenção foi dada à evolução morfológica da paisagem baseada em variações climáticas quaternárias (Bigarella 1964, Bigarella e Mousinho 1965, Ab'Saber 1967, Tricart 1972 e Büdel 1982). No início da década de oitenta, estudos geomorfológicos associados ao tectonismo foram amplamente difundidos em pesquisas específicas em diversas regiões do mundo, principalmente em áreas tectonicamente instáveis (Ollier 1981 e Summerfield 1987, 1991).

No estudo da morfologia da bacia do rio do Tanque, foram minuciosamente investigados alguns elementos, tais como: dife-

Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Campus Morro do Cruzeiro s/n. - Ouro Preto - Minas Gerais - CEP: 35400-000. E-mail: juliamaria@unilestemg.br, paulo@degeo.ufop.br

renças altimétricas, dissecação diferencial e o aspecto físico do modelado, os segmentos dos níveis topográficos, a presença de falhas, zonas de retenção de sedimentos, a forma e a densidade de drenagem e as áreas de drenagem homogênea, sempre observando o padrão de drenagem e a tipologia dos canais. Os elementos aqui apresentados são requisitos necessários para a análise linear e territorial detalhada da organização da rede de drenagem, destacando-se a forma geométrica e a densidade, assim como o arranjo espacial, o gradiente e a tipologia dos cursos d'água. Esta análise forneceu subsídios para a caracterização da rede de drenagem, interrupções de declive no perfil longitudinal dos canais, regiões de maior ocorrência de cursos meandantes, dentre outros, todos correlacionáveis aos aspectos litoestruturais e geomorfológicos da bacia em estudo.

LOCALIZAÇÃO O rio do Tanque é afluente do rio Santo Antônio que, por sua vez, é afluente da margem esquerda do rio Doce.

A bacia hidrográfica do rio do Tanque se localiza no estado de Minas Gerais e está compreendida entre os paralelos 19°15'S e 19°40'S e os meridianos 42°50'W e 43°35'W. A bacia ora investigada banha as cidades de Ipoema, Itabira e Hematita, a sul; Senhora do Carmo, Santa Maria de Itabira e Itauninha, na porção central; e Passabem, a norte, e sua confluência com o rio Santo Antônio se dá à cerca de 7 km a leste de Ferros. Suas principais nascentes se encontram na Serra do Lobo, Serra da Lapa e Serra Negra, a norte; Serra do Espinhaço, a oeste; e a sul, Serra do Cauê e Serra da Pedra Branca, na região de Itabira. Os principais acessos à área podem ser feitos pela rodovia BR-120, que liga Itabira a Senhora do Porto, estradas não pavimentadas pelas quais se acessa Itambé do Mato Dentro e Passabem, e através da BR-381, que liga Belo Horizonte a Governador Valadares, onde se acessa, por estradas não pavimentadas, Hematita, Itauninha e Esmeralda dos Ferros (Fig. 1).

MÉTODOS A análise morfométrica da região descrita foi realizada com base em levantamento de informações em duas séries de fotografias aéreas nas escalas de 1:30.000 (PROSPEC, serviço 609, 1989) e 1:60.000 (USAF, serviço AF-63-32, 1966). A partir da análise das fotos puderam ser individualizadas a rede de drenagem da bacia e áreas com segmentos de canais controlados por falhas e contatos geológicos. Foram utilizadas como suporte duas imagens de satélite Landsat - TM obtidas em datas diferentes.

Em mapas topográficos na escala de 1:100.000 (IBGE 1983), folhas Conceição do Mato Dentro, Itabira, Ipatinga e Guanhanês, foi delimitada a bacia hidrográfica acompanhando os divisores de águas em relação às bacias circunvizinhas. Além disso, foram extraídos dados como: ordem de canais, de acordo com o esquema de ordenação de Strahler (1952 e 1964); número de canais; perímetro total da bacia; altitude máxima, média e mínima; dimensão do perfil longitudinal total; diferença entre altitudes máxima e mínima da área drenada; diferença em metros ao longo do perfil longitudinal e área total da bacia. Estes dados foram utilizados para o cálculo de parâmetros morfométricos tais como: densidade hidrográfica, densidade de drenagem, gradiente de canais, relação de relevo, coeficiente de manutenção, índice de circularidade e índice de sinuosidade. Foram também estabelecidas as direções predominantes dos canais (azimutes), separadamente para cada ordem, cujas medidas foram lançadas no programa StereoNet para Windows - Versão 2.12 onde foram gerados os diagramas de rosetas. Para os canais de ordem superior (5ª, 6ª e 7ª ordens) foram



Figura 1 – Localização da bacia do rio do Tanque no contexto da bacia do rio Doce.

tomadas mais de uma medida de direção, obedecendo a critérios visuais de variações de direção, de acordo com a escala dos mapas utilizados, associados aos lineamentos interpretados nas fotografias aéreas. Para as regiões de meandramento regulares e irregulares foi utilizado, como critério para a subdivisão de canal em segmentos, o índice de sinuosidade que estabelece a relação entre o comprimento do canal e o comprimento do eixo. Desta forma, para segmentos de canal com valores de índice de sinuosidade maiores que 1,3, a medida de direção foi feita segundo o eixo. O mesmo foi feito para as pequenas curvas dos canais (padrão sinuoso de canais) que não se configuram propriamente em meandros.

Foi também confeccionado um diagrama de rosetas de lineamentos estruturais objetivando a comparação com as rosetas de canais, onde foram computados apenas os lineamentos com dimensões superiores ao valor da mediana ($M=1210,5$ m). O valor da mediana como limite inferior mínimo de dimensões de canais foi adotado em função da dificuldade de se estabelecer uma relação

entre canais e lineamentos de pequenas dimensões tendo em vista a pequena escala dos materiais cartográficos disponíveis (1:100.000).

GEOMORFOLOGIA A paisagem atual do Brasil Oriental sofreu influência das deformações tectônicas durante o Mesozóico e o Cenozóico, quando foram desenvolvidas superfícies de aplanamento. Em seu trabalho clássico, King (1956) individualizou quatro ciclos de denudação no Brasil Oriental, assim denominados: pós-Gondwana (Neocretáceo), Sul-Americana (Eoterciário), Velhas (Mesoterciário) e Paraguaçu (Neoterciário). Em recente trabalho, Valadão (1998) refez o estudo das superfícies de denudação para a porção oriental do Brasil, baseado em imagens de radar e de satélite Landsat – TM, não disponíveis na década de 50, e pesquisando áreas extensas dos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia, e verificou uma grande discrepância, com relação ao trabalho de King (1956), no que se refere à diversidade das superfícies de denudação, bem como à distribuição superficial de cada uma delas. As superfícies reconhecidas e individualizadas por Valadão (1998) são as seguintes: Superfície Sul-Americana, Superfície Sul-Americana I e Superfície Sul-Americana II.

A Superfície Sul-Americana apresenta, em sua maior parte, formações superficiais arenosas delimitadas por feições escarpadas, o que facilita a sua individualização. Em geral, os remanescentes desta superfície ocupam os principais divisores hidrográficos tornando-a altimetricamente mais elevada quando comparada às demais superfícies (Valadão 1999).

A Superfície Sul-Americana I desencadeou modificações significativas no nível de base continental da porção oriental do Brasil. As maiores extensões desta superfície ocorrem na porção centro-norte de Minas Gerais, ocupando uma posição altimétrica intermediária entre as superfícies Sul-Americana e Sul-Americana II. Seus remanescentes se correlacionam estreitamente com as coberturas sedimentares neogênicas (Valadão 1999).

A Superfície Sul-Americana II ocupa o piso de amplas depressões interiores e sublitorâneas, onde se encontram os cursos baixos e parte dos cursos médios das principais bacias hidrográficas que drenam a porção oriental do Brasil, onde se insere a bacia do rio Doce. A instalação desta superfície resultou no reajustamento do perfil longitudinal dos rios. Atualmente, são comuns os terraços fluviais margeando as calhas de drenagem, que refletem os diversos estágios aos quais os leitos fluviais foram submetidos (Valadão e Dominguez 1999).

A geodinâmica responsável pela elaboração das superfícies envolveu também a abertura de canais profundos e estreitos e capturas de drenagem, responsáveis pela atual organização da rede hidrográfica do Brasil Oriental.

Remanescentes das três superfícies descritas são encontrados ao longo da bacia hidrográfica do rio Doce, com a seguinte disposição: curso alto - Superfície Sul-Americana, curso médio - Superfície Sul-Americana I e curso baixo - Superfície Sul-Americana II. Na bacia do rio do Tanque há resquícios da Superfície Sul Americana, representada pelo nivelamento de cumes da Serra do Espinhaço, e da Superfície Sul-Americana I caracterizada por superfícies preservadas sobre as unidades litológicas que circunscuem a Serra do Espinhaço.

CLIMA E VEGETAÇÃO Na bacia do rio do Tanque predomina o clima do tipo CWb, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por chuvas abundantes durante o verão e temperaturas

inferiores a 22°C, resultando em verões frescos. Nas porções mais baixas, predomina o tipo CWa, com chuvas abundantes e temperaturas mais elevadas no verão.

A cobertura vegetal da bacia do rio Doce representa atualmente vestígios escassos daquela que foi uma das mais exuberantes florestas do Brasil no passado. Na bacia do rio do Tanque predominam áreas agrícolas, de pastagem e capoeira (vegetação secundária) sobre áreas de mata (floresta estacional semidecidual), campo natural de altitude a oeste, reflorestamento por eucalipto a sul e pequenas áreas degradadas por mineração e de solo exposto (IEF 1999).

PADRÕES DE DRENAGEM A análise do arranjo espacial de cursos fluviais dentro de uma bacia hidrográfica, que em grande parte é controlada pela estrutura geológica, estabelece o padrão de drenagem da mesma (Howard 1967). Padrões diferentes podem ocorrer dentro de uma mesma bacia, sempre influenciados pela disposição, natureza e grau de resistência das rochas, diferenças de declividade e geomorfologia da região (Bigarella *et al.* 1979). Os padrões de drenagem podem ser classificados segundo a sua gênese, geometria e padrão de escoamento (Christofolletti 1980).

A bacia do rio Doce apresenta os padrões de drenagem retangular, radial, espinha de peixe, subparalelo e subdendrítico, baseado nos padrões de drenagem descritos na literatura. Já na bacia do rio do Tanque predominam os tipos retangulares e subdendríticos (Fig. 2).

O padrão retangular na área pesquisada é controlado por lineamentos NW-SE, onde correm os ribeirões do Tatu, Itauninha e afluentes da margem SE do ribeirão Jirau, os quais cortam transversalmente o rio do Tanque orientado, na sua maior parte, segundo a direção NE-SW. O padrão subdendrítico, predominante na bacia do rio do Tanque, se origina da alteração do dendrítico que, ao contrário do padrão retangular, sofre pouca ou nenhuma influência de elementos estruturais e, geralmente, ocorre sobre rochas resistentes e uniformemente erodidas (Christofolletti 1981). Na bacia estudada o padrão subdendrítico ocorre segundo duas direções preferenciais, NW-SE, mais pronunciada, e NE-SW, de expressão local.

CONTEXTO GEOLÓGICO A geologia aqui descrita se baseia,

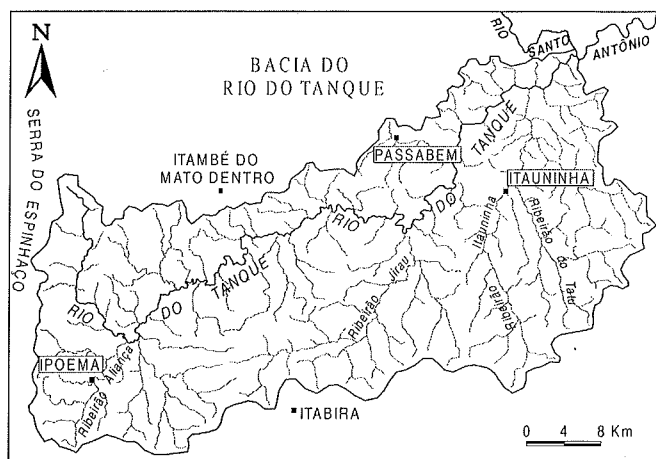


Figura 2 – Rede de drenagem da bacia do rio do Tanque, incluindo seus limites geográficos e localidades mais importantes.

fundamentalmente, no levantamento do Projeto Espinhaço, especificamente Folhas Guanhães (Grossi-Sad 1997) e Conceição do Mato Dentro (Grossi-Sad *et al.* 1997). Complementam este acervo, os trabalhos relativos ao bordo sudeste do Cráton São Francisco apresentados por Grossi-Sad *et al.* (1990a, 1990b) e Endo (1997).

A área estudada se localiza na borda sudeste do Cráton São Francisco e exibe as unidades representadas, de forma sintética, no mapa geológico (Fig. 3).

Milonitos, gnaisses e granitóides da borda da Serra do Espinhaço - região do contato das rochas da Serra do Espinhaço com rochas arqueanas e proterozóicas indiferenciadas ao longo de zonas de cisalhamento de alto ângulo que, em parte, é feito por empurrão.

Rochas arqueanas e proterozóicas indiferenciadas - terrenos arqueanos compostos por gnaisses, em parte migmatizados, de composição granítica ou granodiorítica, exibindo, em geral, arranjo em domo e bacia e dobramentos pronunciados (Endo 1997).

Suíte Borrachudos - plutonitos mesoproterozóicos representados, na área, pelos corpos Itabira (1) e Açucena (2). Os dois corpos apresentam composições semelhantes marcadas por granitos a quartzos monzonitos de coloração cinza claro a rosado e granulação grosseira (Grossi-Sad *et al.* 1990b).

Grupo Guanhães - Subdivide-se em formações, informalmente denominadas como inferior, média e superior, sendo que somente a formação superior está presente na área pesquisada. A formação superior é constituída por gnaisses quartzo-feldspáticos, leucocráticos a mesótipos, finamente bandados com discretas intercalações de anfibolitos, lentes finas de quartzito e raras camadas de formações ferríferas bandadas (Grossi-Sad *et al.* 1990a).

Seqüência Rio das Velhas e seqüência Rio Mata Cavallo - rochas meta-ultramáficas com intercalações de formação ferrífera, quartzitos, micaxistos e filitos (unidades apresentadas no mapa mas que não são drenadas pela bacia do rio do Tanque).

Supergrupo Minas - quartzitos, quartzitos conglomeráticos, conglomerados, filito grafitoso, formações ferríferas (itabirito, itabirito anfibolítico), dolomitos, mármore, quartzitos ferruginosos, filitos dolomíticos e clorita-xistos.

Seqüência Serra da Serpentina - unidade filítica: filitos e filitos ferruginosos laminados com intercalações de quartzitos puros ou micáceos de granulação fina; unidade itabirítica: formação ferrífera bandada com intercalações de quartzito fino, ferruginoso.

Supergrupo Espinhaço (Grupo Guinda) - Formação Sopa Brumadinho - unidade Serra do Lobo: quartzitos de granulação média a grossa com intercalações freqüentes de conglomerados; unidade Rio Preto: quartzitos finos e sericita xistos com níveis carbonáticos e fosfatados; unidade Itambé do Mato Dentro: quartzitos de granulação fina com lâminas ricas em hematita.

A complexidade geomorfológica da bacia do rio Doce se deve à sua evolução estrutural que ocorre desde o início do Cenozóico. Aspectos como a organização da rede hidrográfica e as características do modelado refletem esta evolução. Assim, as falhas presentes em depósitos sedimentares, as rupturas de declive no perfil longitudinal dos rios, as descontinuidades topográficas, o arranjo da rede de drenagem, cursos meandantes e o modelado são testemunhos da evolução cenozóica da área.

As rupturas de declive verificadas revelam falhas recentes ENE-WSW e reativação de falhas pré-cambrianas NE-SW e NW-SE. Estas falhas, associadas ao basculamento de blocos para NW, induziram o aparecimento de níveis de base locais, responsáveis por modificações no modelado e distribuição espacial de trechos meandantes. A porção onde se encontra inserida a bacia do rio

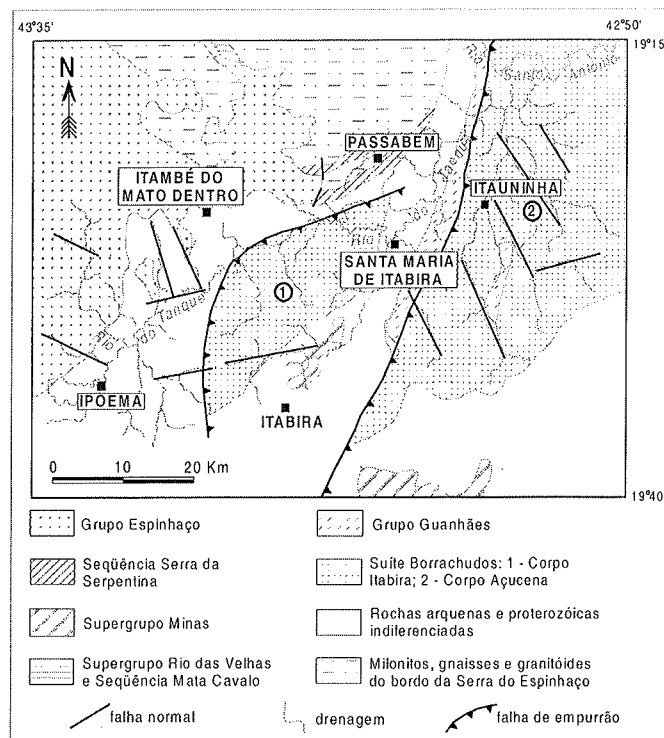


Figura 3 - Esboço geológico da área estudada (modificado de Grossi-Sad 1997).

do Tanque exibe uma topografia acidentada, vales encaixados e dissecação média a forte (Souza 1995).

PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS A análise detalhada de mapas geológicos e topográficos permitiu verificar que a estrutura geológica da região influencia o relevo e a forma da bacia. Procurou-se, então, quantificar a influência da estrutura geológica sobre o relevo e a forma da bacia utilizando-se de parâmetros morfométricos.

Os parâmetros e índices calculados na análise morfométrica da bacia do rio do Tanque foram escolhidos com base em vários autores como Horton (1945), Freitas (1952), Muller (1953), Schumm (1952, 1956 e 1963) e Christofolletti (1969). Tais autores definiram os parâmetros calculados como adequados para a elucidação de natureza geológica para a rede de drenagem, principalmente a litologia e a estrutura. Desta forma, foram calculados índices e valores que forneceram características relativas à forma da bacia e aos componentes da rede hidrográfica (Tabelas 1 e 2). Parâmetros combinados também foram utilizados, no sentido da elucidação da tendência a erosividade na bacia (Tabela 3).

DADOS OBTIDOS Com o intuito de calcular os índices para a caracterização da bacia do rio do Tanque, foram obtidos os dados relacionados na Tabela 4. A partir dos dados da Tabela 4, foram calculados os índices morfométricos definidos no item anterior (Tabela 5).

O resultado da análise dos padrões de drenagem induziu a um estudo detalhado da orientação dos canais de primeira a sétima ordem. Os canais foram separados em grupos de mesma ordem, medidos seus azimutes e plotados em diagramas de rosetas (Figs.

Tabela 1 – Definições de parâmetros morfométricos para quantificação da forma da bacia.

ÍTEM	EQUAÇÃO	DEFINIÇÃO	SIGNIFICADO
Relação de Relevo (Rr)	$Rr = \frac{\Delta a}{L}$	Δa - amplitude altimétrica L - comprimento do canal principal	Estabelece a relação entre a diferença entre a altitude máxima e a mínima na bacia com o comprimento total do canal principal (*).
Densidade hidrográfica (Dh)	$Dh = \frac{n}{A}$	n - número de canais A - área total da bacia	Expressa o número de canais existentes em cada quilômetro quadrado da bacia hidrográfica, indicando o potencial hídrico da região (**).
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = \frac{C}{A}$	C - comprimento total dos canais A - área total da bacia	Esta variável se relaciona diretamente com os processos climáticos atuantes na área estudada, os quais influenciam o fornecimento e transporte de material detrítico ou indicam o grau de manipulação antrópica (***)

(*) Schumm 1956; (**) Freitas 1952; (***) Horton 1945

Tabela 2 – Definições de parâmetros morfométricos para quantificação dos componentes da rede hidrográfica.

ÍTEM	EQUAÇÃO	DEFINIÇÃO	SIGNIFICADO
Coefficiente de manutenção (Cm)	$Cm = \frac{1}{Dd} 1000$	Dd – densidade de drenagem	Fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (*)
Gradiente de canais (Gc)	$Gc = a_{max} / L (\%)$	a_{max} - altitude máxima L - comprimento do canal principal	É a relação entre a cota máxima e o comprimento do canal principal expresso em porcentagem. A sua finalidade é indicar a declividade dos cursos d'água (**).

(*) Schumm 1956; (**) Horton 1945

Tabela 3 – Definições de parâmetros combinados.

ÍTEM	EQUAÇÃO	DEFINIÇÃO	SIGNIFICADO
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = \frac{A}{Ac}$	A - área total da bacia Ac - área do círculo de perímetro igual ao da área total da bacia	Ic = 0,51- escoamento moderado e pequena probabilidade de cheias rápidas. Ic > 0,51- bacia circular favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas). Ic < 0,51- bacia mais alongada favorecendo o escoamento (*).
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = \frac{L}{dv}$	L - comprimento do canal principal dv - distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal	Is \geq 1,0 - o canal tende a ser retilíneo. Is > 2,0 - canais tortuosos Valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. A sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais (**).

Tabela 4 - Dados obtidos para a bacia do rio do Tanque.

DADOS OBTIDOS	BACIA
perímetro	200 km
área	1086,64 km ²
comprimento do canal principal	125 km
diferença de altitude	1023 m
comprimento total dos canais	5349 km
número de canais	2837
distância vetorial do canal principal	59 km
ordem da bacia	7

Tabela 5 - Parâmetros morfométricos calculados para a bacia do rio do Tanque.

PARÂMETROS	BACIA
FORMA DA BACIA DE DRENAGEM	
Relação de Relevo (Rr)	0,0082
Densidade Hidrográfica (Dh)	2,61 canais/km ²
Densidade de Drenagem (Dd)	4,92 km/km ²
COMPONENTES DA REDE DE DRENAGEM	
Coefficiente de Manutenção (Cm)	203,25 m ² /m
Gradiente de Canais (Gc)	0,012 %
PARÂMETROS COMBINADOS	
Índice de Circularidade (Ic)	0,3411
Índice de Sinuosidade (Is)	2,12

4a, b, c, d, e, f, g). O intervalo de classe que apresenta o maior número de valores é denominado de classe modal. A dispersão das direções foi calculada, utilizando-se o vetor principal (R) (equação 1), segundo a magnitude do vetor ou taxa de consistência (L) (equação 2), que deve ser expressa em porcentagem, de acordo com o método trigonométrico de estudos de paleocorrentes descrito por Lindholm (1987) e utilizado para azimutes de canais e lineamentos, de acordo com as equações:

$$R = \sqrt{(\sum n \sin x)^2 + (\sum n \cos x)^2} \quad (1)$$

$$L = \frac{R}{n} \times 100 \quad (2)$$

Os resultados obtidos constam da Tabela 6.

Lindholm (1987) considera valores da magnitude do vetor em torno de 40% como alta dispersão e valores em torno de 80% como baixa dispersão. Neste trabalho, adotaram-se valores abaixo de 70% como baixos e valores maiores ou iguais a 70% como elevados. Desta forma e de acordo com a Tabela 6, verificou-se que os canais de primeira, segunda, terceira, quarta e sétima ordens apresentam alta dispersão. Em se tratando dos canais de primeira ordem, isto provavelmente se deve ao fato de que são canais de pequena extensão e, em geral, não se associam a feições estruturais e/ou litológicas. O comportamento dos canais de quinta e sexta ordens caracteriza o padrão retangular de drenagem representado por segmentos dos ribeirões Tatu, Itauninha e Jirau e alguns dos seus afluentes (ver Fig. 2). Para a sexta ordem

(L=74,25%), verificou-se que 37,5% das medidas encontram-se no setor de 0° a 29° (N - N29°E) (Fig. 4). Em observação visual verificou-se que o canal de sétima ordem, representado pelo rio do Tanque propriamente dito, exibe porções encaixadas e outras não. A dispersão dos seus azimutes é considerada baixa, respeitando valores de índice de sinuosidade inferiores a 1,3, como descrito na metodologia. Ressalta-se, a partir da análise dos diagramas de rosetas (Figs. 4a, b, c, d, e, f e g), que os setores de 0° a 29° (N - N29°E), 270° a 299° (N61°W - W) e 300° a 329° (N31°W - N60°W) acumulam o maior número de medidas.

Para se entender a associação de canais com lineamentos estruturais, foram geradas as rosetas dos lineamentos, observando-se suas dimensões e os resultados confrontados com as rosetas de azimutes dos canais (Figura 4h). Alguns contatos litológicos são falhas e, portanto, podem estar incluídos nos diagramas de lineamentos. Somente foram medidos os azimutes e calculada a dispersão para os lineamentos com dimensões superiores ao valor da mediana (M = 1210,5m). A escolha da mediana como valor limite mínimo de dimensões de lineamentos foi tomada levando-se em conta o difícil estabelecimento da relação entre canais de ordens menores (primeira, segunda e terceira) e lineamentos, em função da escala dos mapas utilizados (1:100.000, mapas topográficos e 1:250.000, imagem de radar).

ANÁLISE DOS DADOS Os valores dos parâmetros calculados na análise morfométrica da bacia do rio do Tanque indicam que a

Tabela 6 – Valores do vetor principal (R) e da magnitude do vetor ou taxa de consistência (L) para os canais de primeira a sétima ordem.

	Ordem 1	Ordem 2	Ordem 3	Ordem 4	Ordem 5	Ordem 6	Ordem 7
R	2088,56	462,28	184,92	56,68	36,18	35,64	60,49
L	62,12	63,15	66,52	62,98	70,95	74,25	61,72

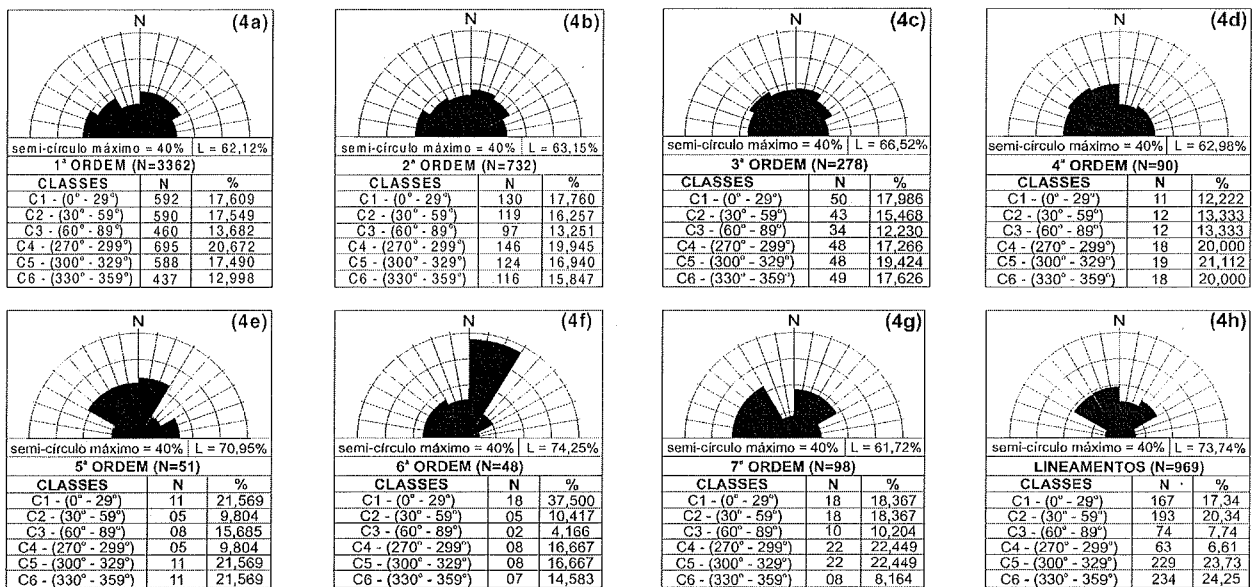


Figura 4 – Diagramas de rosetas de canais de primeira a sétima ordem (figuras 4a, b, c, d, e, f e g) e diagrama de rosetas de lineamentos com dimensões superiores ao valor da mediana (M = 1210,5m) (figura 4h) tomados na bacia do rio do Tanque.

bacia apresenta grande riqueza de cursos d'água, grande escoamento superficial associado à intensa dissecação (Tabela 7). As falhas que controlam os canais e a sua baixa declividade, o que parece ser contraditório quando se analisa a amplitude altimétrica (a diferença entre as cotas máxima e mínima da bacia é de 1023m). Isto se deve à presença de dois níveis de base locais que são áreas susceptíveis à deposição de sedimentos. Estes níveis de base associam-se a blocos baixos de falhas normais e de empurrão orientados segundo NE-SW, que determinam os contatos entre o corpo Itabira e o corpo Açucena, ambos da Suíte Borrachudos, com as rochas arqueanas.

Os valores encontrados para densidade hidrográfica e densidade de drenagem são mais expressivos nas porções onde ocorrem granitos, granitóides e gnaisses, os quais perfazem a maior parte da bacia, ao passo que têm menor expressão nas áreas onde afloram quartzitos. O gradiente de canais é fortemente influenciado pela borda da serra do Espinhaço, localizada na porção oeste da bacia. O índice de circularidade aponta que a bacia do rio do Tanque apresenta baixa propensão à ocorrência de cheias em função de sua forma alongada com alto nível de escoamento. No entanto, esse índice não registra a existência das áreas de retenção de sedimentos, as quais apresentam características que sugerem tendência à ocorrência de inundações. As áreas de acúmulo de sedimentos influenciam o valor do índice de sinuosidade, o qual confere aos canais da bacia uma leve tendência à sinuosidade, apesar dos segmentos controlados por falhas serem mais comuns.

O coeficiente de manutenção é baixo (203,25 m²/m), enquanto que a densidade hidrográfica (2,61 canais/km²) mostra que há uma grande riqueza de cursos d'água. Estes índices mostram que, em média, as rochas da região apresentam baixa permeabilidade, facilitando o escoamento superficial.

A partir da comparação dos diagramas de rosetas, procurou-se estabelecer a relação entre os canais e os lineamentos. Entre as ordens de canais analisadas, apenas os de quinta e sexta ordens apresentam baixa dispersão, sugerindo um controle geológico.

A área é cortada, predominantemente, por três famílias de falhas (normais e de empurrão), N-N30°W, N31°-60°W e N31°-60°E.

Uma quarta família, menos pronunciada, de direção N-N30°E, ocorre em porções isoladas da área.

Os canais de quinta e sexta ordens, representados pelos ribeirões Aliança, Jirau, Itauninha e do Tatu, como observado nas figuras 2 e 3, são controlados por falhas normais e de empurrão. Já o canal de sétima ordem, o próprio rio do Tanque, é parcialmente controlado pelo contato entre o Corpo Itabira da Suíte Borrachudos e as rochas arqueanas e proterozóicas indiferenciadas, o qual se dá por empurrão.

As falhas NE-SW (normais e de empurrão), que ocorrem com maior frequência, são os principais obstáculos (barramentos) na bacia do rio do Tanque, condicionando o aparecimento das porções de retenção de sedimentos que, por vezes, coincidem com contatos geológicos falhados. As falhas de direção NW-SE controlam os canais, principalmente da porção SE da área.

CONCLUSÕES A interpretação dos dados obtidos para a bacia do rio do Tanque indica que:

- os parâmetros morfométricos calculados para a bacia são insuficientes para sugerir controles geológicos;
- dentre os parâmetros morfométricos calculados para a bacia do rio do Tanque, os valores obtidos para a relação de relevo (Rr), densidade hidrográfica (Dh), gradiente de canais (Gc), índice de circularidade (Ic) e índice de sinuosidade (Is) são influenciados pelo controle geológico;
- as áreas de retenção de sedimentos são controladas pelos blocos baixos das falhas de empurrão NE-SW e reconhecidas pelo índice de sinuosidade (Is);
- a rede de drenagem da bacia do rio do Tanque é controlada, principalmente os canais de quinta e sexta ordens, por lineamentos estruturais representados por falhas normais e de empurrão. Parte do canal do rio do Tanque (sétima ordem) apresenta um controle litológico e tectônico, representado pelo contato tectônico entre o Corpo Itabira da Suíte Borrachudos e rochas arqueanas e proterozóicas indiferenciadas.

Agradecimentos Aos revisores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

Tabela 7 – Síntese e interpretação dos resultados.

PARÂMETRO	RESULTADO	INTERPRETAÇÃO
Densidade hidrográfica	2,61 canais/km ²	Grande riqueza de cursos d'água
Densidade de drenagem	4,92 km/km ²	Grande escoamento superficial associado à intensa dissecação
Coefficiente de manutenção	203,25 m ² /m	A área da bacia necessária para a manutenção de 1m de canal é pequena
Gradiente de canais	0,012%	Baixa declividade dos canais
Índice de circularidade	0,3411	Bacia alongada com alto nível de escoamento e baixa propensão à ocorrência de cheias
Índice de sinuosidade	2,12	Valores superiores a 2,0 indicam que os canais são sinuosos

Referências

- Ab'Saber A.N. 1957. Conhecimentos sobre as flutuações climáticas do Quaternário no Brasil. *Boletim Sociedade Brasileira de Geologia*, 6(1):41-48.
- Bigarella J.J. 1964. Variações climáticas no Quaternário e suas implicações no revestimento florístico do Paraná. *Boletim Paranaense de Geografia*, 10/15:211-231.
- Bigarella J.J., Mousinho M.R., Silva J.X. 1965. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas, colúvios e várzeas. *Boletim Paranaense*

- de Geografia, **16/17**:153-197.
- Bigarella J.J., Suguio K., Becker R.D. 1979. *Ambiente fluvial: ambientes de sedimentação, sua interpretação e importância*. Editora Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 183pp.
- Büdel J. 1982. *Climatic geomorphology*. Princeton University Press. New Jersey, 443pp.
- Christofoletti A. 1969. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfológica*, **9**(18):35-64.
- Christofoletti A. 1970. *Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas*. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 375p.
- Christofoletti A. 1977. A mecânica do transporte fluvial. *Geomorfologia*, **51**:1-42.
- Christofoletti A. 1981. *Geomorfologia fluvial*. Edgar Blücher. São Paulo, 313pp.
- Cotton C.A. 1948. *Landscape*. 2.ed., Cambridge: Cambridge University Press. 255pp.
- Endo I. 1997. *Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da placa sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 243p.
- Freitas R.O. 1952. *Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica*. São Paulo, Boletim Paulista de Geografia. **11**:53-57.
- Grossi-Sad J.H., Chiodi Filho C., Santos J.F.; Magalhães J.M.M., Carelos P.M. 1990 a. Duas "suítes" graníticas do bordo sudeste do Cráton São Francisco, em Minas Gerais; petroquímica e potencial metalogenético. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 36, Natal, *Anais*, **4**:1836-1841.
- Grossi-Sad J.H., Chiodi Filho C., Santos J.F., Magalhães J.M.M., Carelos P.M. 1990 b. Geoquímica e origem da formação ferrífera do Grupo Guanhanês, Distrito de Guanhanês, MG, Brasil. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 36, *Anais*, **3**:1241-1253.
- Grossi-Sad J.H. 1997. Geologia da Folha Guanhanês. In: J.H. Grossi-Sad, L.M. Lobato, A.C. Pedrosa-Soares & B.S. Soares Filho (coordenadores e editores). *Projeto Espinhaço Em CD-ROM (textos, mapas e anexos)*. Belo Horizonte, COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais, 2317-2435.
- Grossi-Sad J.H., Mourão M.A.A., Guimaraes M.L.V., Knauer L.G. 1997. Geologia da Folha Conceição do Mato Dentro. In: J.H. Grossi-Sad, L.M. Lobato, A.C. Pedrosa-Soares & B.S. Soares Filho (coordenadores e editores). *Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos)*. Belo Horizonte, COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais, 2533-2693.
- Holmes A. 1978. *Principles of physical geology*. 3 Ed. Nelson, 730pp.
- Horton R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*. **56**(3):275-370.
- Howard A.D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *AAPG Bulletin*, **51**(11):2246-2259.
- IEF 1999. Cobertura vegetal e uso do solo do estado de Minas Gerais. Mapas, escala 1:100.000. Belo Horizonte.
- King L.C. 1951. *South Africa Scenery*. 2.ed. Oliver & Boyd, Edinburgh, 379pp.
- King L.C. 1956. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*. **18**(2):147-265.
- King L.C. 1962. *Morphology of the earth*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 699pp.
- Lindholm R.C. 1987. *A practical approach to Sedimentology*. Allen & Unwin, London, 276pp.
- Lubowe J.K. 1964. Stream junction angles in the dendritic drainage pattern. *American Journal of Science*, **262**(3):325-339.
- Miller V.C. 1953. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. Virginia and Tennessee. *Dept. of Geology*. **(3)**:30.
- Ollier C. 1981. Tectonics and landforms. In: Ollier C. (Ed.) *Series Geomorphology texts*. New York: Clayton, pp.161-180.
- 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**(9):1089-1100.
- Souza C.J.O. 1995. *Interpretação morfotectônica da Bacia do Rio Doce*. Dissertação de Mestrado Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 147 p.
- Strahler A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*. **63**(10):1117-1142.
- Strahler A.N. 1956. Quantitative slope analysis. *Geological Society of America Bulletin*, **67**:571-596.
- Summerfield M.A. 1987. Neotectonics and landform genesis. *Progress in Physical Geography*, **11**(3):384-397.
- Summerfield M.A. 1991. Tectonics geomorphology. *Progress in Physical Geography*. London. **15**(2):193-205.
- Toletino M., Gandolfi N., Paraguassu A.B. 1968. Estudo morfométrico das bacias hidrográficas do Planalto de São Carlos - SP. *Rev. Bras. Geografia*, **30**(4):42-50.
- Tricart J. 1972. *Introduction to climatic geomorphology*. Longman. London, 295pp.
- Valadão R.C. 1998. *Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental: desnudação, superfície de aplanamento e movimentos crustais*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 243p.
- Valadão R.C., Dominguez J.M.L. 1999 a. Deformação tectônica neocenozóica no Brasil Oriental: zonalidade e magnitude. In: ABEQUA, Congresso da ABEQUA, 7, Porto Seguro, *Anais*, viiabequa_zco999.pdf
- Valadão R.C. 1999 b. Superfícies de aplanamento do Brasil Oriental: mapeamento, caracterização e geodinâmica. In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 7, e Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 10, Brasília. *Anais*. 107-108.
- Zernitz E.R. 1932. Drainage patterns and their significance. *J. Geology*, **40**:498-521.

Manuscrito A-1239

Recebido em 11 de julho de 2001

Revisão dos autores em 05 de julho de 2003

Revisão aceita em 08 de julho de 2003