

Biologia Geral e Experimental

ANÁLISES MORFOMÉTRICAS EM ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS: A BACIA DO RIO CRIXÁS-MIRIM, ESTADO DE GOIÁS

*Thaís Moreira Alves¹
Thiago Morato de Carvalho²*

RESUMO

O objetivo deste exercício é focado nos parâmetros utilizados em geografia e geomorfologia para estudos de bacias hidrográficas. Como exemplo de caso, apresenta-se um estudo morfométrico da bacia do rio Crixás-mirim, localizado no estado de Goiás.

Palavras-chave: Análises morfométricas, geomorfologia, rio Crixás-mirim, estado de Goiás.

ABSTRACT

The aim of this exercise is focused on the parameters utilized in Geography and Geomorphology for drainage basins studies. As example of case, it is presented a morphometrical study of the drainage basin of the Crixás-mirim River, located in the state of Goiás.

Keywords: Morphometrical analysis, Geomorphology, Crixás-mirim River, state of Goiás.

INTRODUÇÃO

Os estudos relacionados aos aspectos morfológicos da rede de drenagem têm função muito relevante na compreensão e elucidação de questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processo morfogenético ativos na esculturação e evolução da paisagem (Christofolletti, 1980).

Neste contexto, a bacia hidrográfica (ou bacia de drenagem) é formada pelo conjunto de canais fluviais, delimitados por terrenos adjacentes mais elevados, os quais formam uma rede de drenagem constituída por tributários e um rio principal. Estes canais drenam terras desde suas nascentes em terrenos mais elevados, até a foz. Neste processo os canais

vêm carreando sedimentos em suspensão e de fundo, e substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas. O material drenado vai para o canal principal do rio.

Os processos erosivos tendem a ser mais intensos na região da alta bacia hidrográfica, a qual é formada basicamente por rios de primeira ordem, que são os pequenos tributários com relevante ação erosiva, devido a alta energia por desenvolverem-se em terrenos com os maiores declives do que a bacia hidrográfica. A densidade de drenagem aumenta com a vazão, até a foz do rio principal (Castro & Carvalho, 2009).

A escolha de bacias hidrográficas como unidade de estudo depende da questão em foco. Podemos

¹ Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Goiânia, Go thais.moreiraa@gmail.com.

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Clima e Ambiente, Manaus, Am thiago.morato@inpa.gov.br.

descrever os parâmetros hidrológicos quando o foco da pergunta for direcionado para entendermos processos evolutivos na formação e manutenção de uma unidade geográfica, e também podemos descrever estes mesmos parâmetros para focos de perguntas envolvendo desenvolvimento regional, ocupação do espaço e políticas de preservação ambiental. Seja como for, o entendimento estrutural e funcional dos sistemas fluviais constitui tema relevante nos estudos sobre quaisquer aspectos da paisagem.

Este exercício tem dois focos inter-relacionados. Primeiro, apresentamos uma visão geral sobre os parâmetros que são normalmente abordados em estudos de bacias hidrográficas. Tendo como base estes parâmetros, ampliamos o exercício para um exemplo prático – a rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Crixás-mirim, no estado de Goiás, descrita através de análises areal da bacia hidrográfica, linear e hipsométrica, bem como a inserção geográfica e geomorfológica da bacia deste rio.

Bacias Hidrográficas

A bacia de drenagem é constituída pela parte da superfície terrestre ocupada por um complexo de escoamento que contribui para manter a água superficial naquele sistema (Kenitiro, 1998). Esse sistema é constituído por um conjunto de canais e tributários, os quais drenam água de chuva, sedimentos e substâncias dissolvidas para um canal principal. A vazão (ou deflúvio) deste canal converge para uma saída única: a foz do canal principal em outro rio, lago ou mar. As bacias hidrográficas são delimitadas pelos divisores de água e seus tamanhos podem variar desde dezenas de metros quadrados até milhões de metros quadrados. As bacias de tamanhos diferentes articulam-se a partir dos divisores de água, integrando um sistema de drenagem organizado hierarquicamente. Assim, dependendo da saída, uma bacia pode ser subdividida em sub-bacias e microbacias de menor dimensão (Granel-Pérez, 2001).

Geomorfologia

Na hidrogeologia, as unidades geomorfológicas identificadas podem ser relacionadas com o funcionamento de recarga e descarga dos aquíferos. Variáveis como o padrão de relevo, a densidade de drenagem, o comprimento das rampas, e as altitudes, são fundamentais na caracterização de uma área. A geomorfologia quantitativa consiste na aplicação de modelos matemáticos e estatísticos para descrever a forma do relevo terrestre, o comportamento de variáveis e os processos que intervêm na formação e manutenção da paisagem. O emprego de métodos quantitativos na análise da paisagem consiste em atribuir uma dimensão às variáveis e expressar comparativamente a significância das variações, na forma paramétrica ou não paramétrica, dependendo da variável (Strahler, 1992). Métodos multivariados também são cada vez mais usuais nestes estudos geomorfológicos (Carvalho Júnior *et al.*, 2008). Os estudos geomorfológicos quantitativos que têm como base as análises de parâmetros fisiográficos de bacias hidrográficas ganharam mais força com os estudos de Horton (1945) e Strahler (1954).

Relação de bifurcação

Trata-se da relação entre o número total de segmentos de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior (eq.1). Tem como base o sistema de ordenação de Strahler, cuja relação escoamento (Christofolletti, 1980). Podem ser utilizadas as seguintes relações: relação de bifurcação e a relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem e o comprimento do rio principal.

Relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem

Em qualquer bacia hidrográfica, esta relação do comprimento dos canais envolve medidas relativas dos segmentos da drenagem, que é a média aritmética dos canais de drenagem de cada ordem.

$$L_m = Lu / N_u$$

L_m relação do comprimento médio dos canais (km), L_u soma total dos comprimentos dos canais de cada ordem, N_u número de segmentos encontrados na respectiva ordem.

Área da bacia hidrográfica

A área de uma bacia hidrográfica é drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal (Christofolletti, 1980). A área da bacia pode ser medida por meios analógicos ou digitais. O meio analógico é mais prático, pois permite obter de forma simples e de fácil manuseio a área da bacia hidrográfica através do uso de instrumentos, tais como o planímetro. Existem técnicas mais precisas para obter dados areais de uma bacia hidrográfica, tais como programas CAD (*Computer Aided Design*), usados para gerar desenhos vetoriais (linhas, polígonos, pontos), ou programas próprios para Sistemas de Informações Geográficas, por exemplo, ArcView, SPRING, ENVI. O uso de tais ferramentas necessita de um conhecimento prévio sobre seu funcionamento das análises. A utilização de curvímetros, planímetros e régua, ainda são as formas práticas para se extrair dados básicos de cartas topográficas.

Forma da bacia hidrográfica

Bacias hidrográficas possuem diferentes formas, devido às condições estruturais do relevo e intervenções do clima. Esta variável tem relevante importância prática, porque aquelas bacias cujas formas tendem a serem esféricas em acentuado declive, são ambientes propícios a enchentes; todo o fluxo da bacia tende a escoar de forma igual para a jusante do curso principal, o passa a ser inundado. Um forma de determinar a vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica a eventos de cheias é através do Coeficiente de Capacidade (k_c), um valor adimensional superior a 1. Valores próximos de 1 indicam que a bacia hidrográfica é susceptível à enchentes. Esta é uma relação entre a área da bacia e

a área do círculo de mesmo perímetro (Villela & Mattos, 1975; Miller, 1953).

$$K_c = 0,282 \cdot P/\sqrt{A}$$

P perímetro, A área da bacia.

Comprimento da bacia hidrográfica

O comprimento da bacia hidrográfica é uma característica fundamental, pois está relacionado ao tempo de deslocamento do fluxo de água ao longo de todo o sistema. O tempo que leva a água pluvial desde suas nascentes, até um determinado ponto mais a jusante, é conhecido como tempo de concentração. Em bacias alongadas o tempo de concentração é maior que em bacias esféricas, menos favoráveis a eventos de enchentes. O comprimento da bacia pode ser determinado entre a foz do rio e o ponto extremo da bacia hidrográfica (Christofolletti, 1980).

Comprimento do rio principal

Esta variável é o comprimento do curso d'água desde a nascente até a desembocadura (Christofolletti, 1980), medido como a soma dos comprimentos de seus segmentos.

Densidade de rios

Densidade de um rio é a relação entre o número de rios (ou cursos de água) e a área da bacia hidrográfica. Esse índice foi proposto por Miller, em 1953. Sua finalidade é comparar a quantidade de cursos de água existentes com a área da bacia hidrográfica (Christofolletti, 1980). Expressa a magnitude da rede hidrográfica, indicando sua capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área (Freitas, 1952).

$$D_r = N/A$$

D_r densidade de rios, N número de rios, A área da bacia.

Densidade de drenagem

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica (Horton, 1945). Essa variável se relaciona com os processos climáticos atuantes, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico - quanto maior a densidade de drenagem de uma bacia hidrográfica, maior a eficiência em erodir. Neste caso a superfície apresenta maiores índices de dissecação, mais eficiência em transportar sedimentos e maiores vazões em seu curso principal. Estas características formam rios bem desenvolvidos. Para um mesmo tipo de clima, a densidade de drenagem depende do comportamento hidrológico das rochas. As rochas mais impermeáveis possuem melhores condições para o escoamento superficial, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem; contrário acontece com rochas porosas (Horton, 1945). A relação é a seguinte:

$$Dd = Lt/A$$

Dd densidade de drenagem (km/km²), Lt comprimento total dos canais, A área da bacia.

Amplitude altimétrica da bacia hidrográfica

Amplitude é a diferença altimétrica entre o ponto mais alto e o mais baixo da bacia hidrográfica.

Relação de relevo

Esta relação foi apresentada por Schumm (1956), é a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia hidrográfica, medida paralelamente à principal linha de drenagem. A expressão é a seguinte:

$$Rr = Hm/Lh$$

Rr relação de relevo, Hm amplitude topografia máxima, Lh comprimento da bacia.

Índice de rugosidade

Este índice é utilizado para expressar um dos aspectos de análise dimensional da topografia. É a relação entre a declividade, o comprimento das vertentes e a densidade de drenagem. Os valores da rugosidade do relevo aumentam quando as vertentes são longas e íngremes (Christofoletti, 1980). A relação é:

$$Ir = H \cdot Dd$$

Ir índice de rugosidade, H amplitude altimétrica, Dd densidade de drenagem.

ESTUDO DE CASO: O RIO CRIXÁS-MIRIM

A delimitação da bacia do Crixás-mirim, como exemplo de estudo de caso sobre os parâmetros hidrológicos apresentados, foi feita através das curvas de nível da carta topográfica SD 22 Z -A - Itapaci, juntamente com análise estereoscópica de fotografias aéreas. Foram também obtidas medidas lineares, tais como comprimento dos canais de drenagem (Cr) e perímetro da bacia (P), utilizando-se curvímeter. A área da bacia foi estimada através do programa SPRING (Sistema de Processamento de Informação Georreferenciada). As características morfométricas foram avaliadas através da análise areal da bacia hidrográfica, análise linear e análise hipsométrica.

Geomorfologia

Geomorfologicamente, a bacia do Crixás-mirim está inserida no compartimento SRAIVC1, que mergulha suavemente em direção à planície do Bananal, onde aflora a Formação Araguaia. Esta Formação é constituída por sedimentos arenoconglomeráticos e silto-argilosos do Terciário Superior e Quaternário. No rio Crixás-mirim, encontram-se coberturas detrítico-lateríticas, geralmente sobre rochas quartzíticas do

embasamento. Os sedimentos fluviais laterizados estão sendo desmantelados no clima atual e se encontram freqüentemente formando campos disseminados de blocos sobre as superfícies de aplainamento. Nesta região ocorrem também as Planícies Fluviais funcionais, nelas se destacam as meandriformes (PFm). Estes meandros são os elementos geomorfológicos dominantes, dando aspectos sinuosos aos rios, os quais apresentam fluxos de baixa energia se comparados com rios mais retilíneos (Latrubesse & Carvalho, 2006).

Localização, padrões de drenagem e altitude

A bacia hidrográfica do rio Crixás-mirim ocupa uma área de 1.246 km² e 175 km de perímetro, localizada na porção noroeste do Estado de Goiás, no domínio morfoclimático do cerrado. Hierarquicamente a bacia do Crixás-mirim é de 4^o ordem, de acordo com a classificação de Strahler (1952), com 158 canais de escoamento. A altitude varia entre 300-650 metros. Geometricamente esta bacia apresenta padrão dendrítico-retangular, associada litologicamente ao substrato geológico cristalino e amplamente fraturado, cuja rede de drenagem apresenta bruscas alterações retangulares no curso dos canais tributários e também da drenagem principal (Figura 1).

Análise linear da rede hidrográfica

A bacia hidrográfica do rio Crixás-Mirim possui 127 segmentos de primeira ordem, 27 de segunda, 3 de terceira e 1 de quarta ordem. Os rios de primeira ordem se estendem por 417,5 km, os de segunda ordem 140,9 km, os de terceira ordem 45 km e o de quarta ordem 79 km de extensão. Os rios de quarta ordem, mais desenvolvidos, apresentam uma planície de inundação com aspectos sinuosos e lagos. Há um aspecto interessante nos cursos fluviais de segunda ordem do Crixás-mirim, porque o valor do índice de bifurcação encontrado para estes rios foi 9, indicando um escoamento do fluxo constante e uniformemente distribuído através do tempo. O comprimento médio dos canais varia de acordo com a classificação de ordem dos rios pertencentes à bacia do Crixás-mirim (Tabela 1).

Análise areal

A extensão da bacia hidrográfica do rio Crixás-Mirim (L) e do próprio rio (L) são praticamente iguais. O índice de circularidade (Ic) da bacia é baixo, como também é baixa a densidade de rios (Dr), mostrando a pequena capacidade desta bacia em gerar novos cursos d'água. A soma dos comprimentos dos canais é 682,44 km. A densidade da drenagem (Dd) é mediana, mostrando que há um escoamento superficial moderado, mas com importante grau de dissecação associado (Tabela 2).

Tabela 1. Descrição linear da Rede hidrográfica da bacia do rio Crixás-mirim.

| Ordem | Segmentos | Comprimento médio (Km) | Rb | Lm (Km) |
|------------------|-----------|------------------------|------|---------|
| 1 ^a . | 127 | 417.5 | 4.55 | 3.34 |
| 2 ^a . | 27 | 140.9 | 9 | 5.22 |
| 3 ^a . | 3 | 45 | 3 | 15 |
| 4 ^a . | 1 | 79 | - | 79 |

Tabela 2. Análise areal da bacia hidrográfica do rio Crixás-Mirim.

| Área (Km ²) | L rio (Km) | L bacia (Km) | Ic | Dr | Dd (Km/Km ²) |
|-------------------------|------------|--------------|------|------|--------------------------|
| 1.246.875 | 79 | 67.5 | 0.51 | 0.13 | 0.54 |

Hipsometria

A amplitude altimétrica da bacia do Crixás-mirim é 346 metros. A relação de relevo é 5,12, sugerindo que a bacia possui um relevo bastante dissecado. O índice de rugosidade de 186,84 indica que o relevo está muito dissecado, o qual é favorável a produção de sedimentos, apresentado uma superfície ondulada propícia à erosão.

CONCLUSÃO

Os parâmetros geomorfológicos apresentados inicialmente foram complementados com o estudo de caso – bacia do rio Crixás-mirim –, cujo padrão dendrítico de drenagem indica que a litologia predominante é uniformemente resistente, sofrendo pouca ou nenhuma influência dos elementos estruturais. Este é o caso geral do complexo goiano cristalino ao qual ele pertence. As características da bacia deste estudo de caso indicam também que os processos de escoamento superficial predominam aos processos de infiltração e evaporação.

O índice de circularidade da bacia é triangular, com nível moderado de escoamento, não contribuindo na concentração de águas que possibilitem cheias rápidas. Valores maiores que 0,51 indicam que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas). Já os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento (Müller, 1953; Schumm, 1956).

As análises lineares das extensões e quantidades de canais de escoamento superficial permitiram com que pudessem ser expressas as potencialidade e capacidade de escoamento da bacia do Crixás-mirim. Tal como foi abordado conceitualmente no início deste exercício, as análises areais dimensionaram a bacia espacialmente tanto em áreas quanto comprimento. Nos estudos de planejamento a área da bacia é um dado fundamental para definir sua potencialidade hídrica. A análise hipsométrica

permitiu obter os variados gradientes altimétricos da bacia hidrográfica do estudo de caso.

Este estudo foi realizado através de meios analógicos, com base em carta topográfica e fotografias aéreas. São métodos de rotina, que podem inclusive ser realizado como prática didática em sala de aula. Entretanto, é cada vez mais acessível o uso de ferramentas como SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) e imagens de satélite (Carvalho & Bayer, 2008). São ferramentas de baixo custo e em muitos casos, como a série Landsat, Cbers, Modis, não há nenhum custo. Atualmente, com o uso do GoogleEarth, as imagens de alta resolução (pixel de 1m) são excelentes fontes para estudos de bacias hidrográficas. Outro exemplo para estudos fisiográficos é o uso das imagens da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Por serem tratadas de MDEs (Modelos Digitais de Elevação), podem-se extrair informações do relevo, tais como perfis topográficos, declividade e hipsometria, bem como delimitar bacias hidrográficas e elaborar mapeamentos geomorfológicos.

REFERÊNCIAS

- Carvalho, T.M. & M. Bayer, 2008. Utilização dos produtos da “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) no mapeamento geomorfológico do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia** 9(2):35-41.
- Carvalho Jr. W, C.E.G.R. Schaefer, C.S. Chagas & E.I. Fernandes Filho, 2008. Análise multivariada de argissolos da faixa atlântica brasileira. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 32:2081-2090.
- Castro, S.B. & T.M. Carvalho, 2009. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo, Goiás, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia Plena** 5(2):1-7.
- Christofolletti, A. 1980. **Geomorfologia**. 2ª. ed., Edgard Blücher, S.Paulo 188p.
- Freitas, R.O. 1952. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia** 11:53-57.
- Granell-Pérez, M.D.C. 2001. **Trabalhando geografia com as cartas topográficas**. Ed. Unijuí: Ijuí, Rio Grande do Sul 28p.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to

- quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin** 56:275-370.
- Kenitiro, S. 1998. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Ed. Bertrand, Rio de Janeiro 1222p.
- Latrubesse, E. & T.M. Carvalho, 2006. **Geomorfologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Secretaria da Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração, Governo do Estado de Goiás 127p.
- Müller, V.C. 1953. **A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the clinch mountain area**. Technical Report 3, Department of Geology, New York 30p.
- Schumm, S.A. 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin** 67:597-646.
- Strahler, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin** 63:1117-1142.
- Strahler, A.N. 1954. Statistical analysis in geomorphic research. **Journal of Geology** 62:1-25.
- Strahler, A.N. 1992. Quantitative-dynamic geomorphology analysis at Columbia 1945-1960: a restropective. **Progress in Physical Geology** 16:65-84.
- Villela, S.M. & A. Mattos, 1975. **Hidrologia Aplicada**. McGraw-Hill, S. Paulo 245p.

Aceito: 30.v.2009

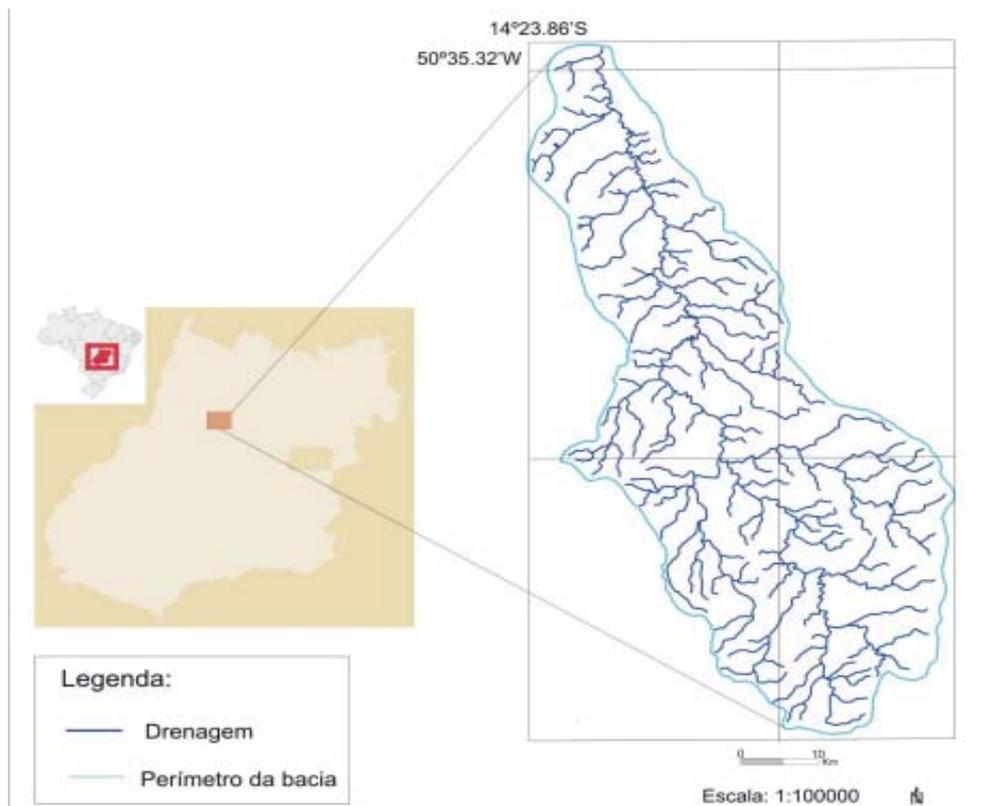


Figura 1. Bacia de drenagem do rio Crixás-mirim.