

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PEQUENO EM SÃO JOSÉ DOS PINHAIS (PR)

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE RIVER PEQUENO WATERSHED IN THE CITY OF SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, PARANÁ STATE, BRAZIL

Marcia Regina Gomes de Jesus Soares

Geógrafa. Mestre em Ciência do Solo (UFPR). Doutoranda em Geografia (UFPR). Professora Adjunto da Universidade Tuiuti do Paraná (UTP).

Jorge Luiz Moretti de Souza

Engenheiro Agrícola. Doutor em Irrigação e Drenagem (USP). Professor Associado da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise dos parâmetros morfométricos do relevo e da rede de drenagem da bacia do Rio Pequeno, situada no município de São José dos Pinhais – Estado do Paraná, possuindo área aproximada de 128 km², visando dar subsídios às diretrizes básicas de ação ambiental sustentáveis. O cálculo dos índices e parâmetros morfométricos foi realizado baseando-se em imagens de satélite, cartas topográficas e programas especializados. Os resultados obtidos permitiram verificar que a bacia apresentou: (a) controle pela geologia, determinada principalmente pelo rio principal; (b) alta densidade de rios e de drenagem concentrados na porção superior da bacia (alto e médio cursos) com solos de baixa permeabilidade (Cambissolo e Neossolo).

Palavras-chave: Morfometria, hidrografia, planejamento ambiental, Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno.

ABSTRACT: *This study aimed to conduct an analysis of morphometric parameters of the network topography and drainage for the Pequeno watershed, located in São José dos Pinhais - State of Paraná, with approximate area of 128 km², targeting subsidies to the guidelines basic sustainable environmental action. The calculation of indices and morphometric parameters were performed based on satellite images, topographic charts and specialized programs. The results showed that the basin had: (a) control the geology, determined mainly by the main river; (b) high density of rivers and drainage concentrated in the upper basin of the (upper and middle courses) with low permeability soils (Cambisol and Typic).*

Keywords: *Morphometry, hydrography, environmental planning, Watershed of the River Pequeno.*

INTRODUÇÃO

Estudos relacionados à rede hidrográfica sempre foram muito importantes para Geomorfologia, pois os cursos d'água constituem um dos processos mais ativos na formação da paisagem terrestre (ANTONELLI & THOMAZ, 2007; PISSARRA *et al.*, 2004; REIS NAKASHIMA, 2001; SANTOS & SOBREIRA, 2008; TEODODO *et al.*, 2007). A morfometria possibilita uma análise quantitativa, usando valores exatos de um conjunto de parâmetros para obter as principais características de uma área de estudo. Quando aplicada em estudos de bacias hidrográficas, a morfometria possibilita uma abordagem quantitativa, com vista a uma análise areal, linear e hipsométrica (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Segundo Antonelli & Thomaz (2007), a combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas. Esses parâmetros podem

revelar indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais. Destaca-se também sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas.

A análise morfométrica de bacias hidrográficas, por meio das características geomorfológicas associadas ao relevo e à rede de drenagem, possibilita a identificação de suas características gerais. Essas medidas podem servir como um referencial para o planejamento ambiental e proposta de reestruturação regional, com o intuito de auxiliar a tomada de decisão de projetos envolvendo o uso de recursos físicos na região. A Região Metropolitana de Curitiba concentrará porções cada vez mais expressivas da população estadual. Paraná (2000) mostra que enquanto a população total do Paraná apresentou acréscimo de mais de um milhão e quinhentos mil habitantes entre 1996 e 2010, a população da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) apresentou acréscimo próximo a um milhão e trezentos mil habitantes no mesmo período. Além disso, a população cresce na RMC em um ritmo superior ao de Curitiba. Em 1980, 71% da população da Região Metropolitana concentrava-se em Curitiba, enquanto que em 1991, a população caiu para 64% e, em 2000, o índice foi de 58%. Para o ano de 2010 apenas 50% da população encontrava-se residindo em Curitiba.

Os dados apresentados apontam para uma preocupante perspectiva futura, cujos reflexos não se limitarão ao município de Curitiba, pois a maior parte da população não estará nela fixada, mas na RMC. De acordo com Teodoro *et al.* (2007), a análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia pode levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local. Cabe lembrar que nenhum desses índices, isoladamente, deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, a qual inclusive tem magnitude temporal.

O processo de extração das variáveis numéricas pode ser feita com a utilização direta de um mapa topográfico ou automaticamente, a partir de modelos numéricos de terrenos (MNTs), utilizando-se das ferramentas disponíveis em grande parte do sistema de informações geográficas (JESUS, 2004).

Segundo Christofolletti (1980), a análise morfométrica de bacias hidrográficas pode ser dividida em quatro itens, sendo: (a) a ordenação ou hierarquização da rede de drenagem; (b) a análise linear da rede de drenagem compreendendo as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamento; (c) análise areal da bacia hidrográfica, englobando vários índices que utilizam medições planimétricas, além das lineares; e, (d) análise hipsométrica compreendendo a distribuição altimétrica da bacia.

A morfometria de drenagem é um tipo de avaliação quantitativa que privilegia, como objeto de análise, as informações físico-naturais presentes na estrutura morfológica de uma bacia hidrográfica. Nessa lógica, o arranjo estabelecido entre a área da bacia ou setores que a compõem, o número de canais existentes e o gradiente altimétrico, são alguns dos elementos que a metodologia leva em consideração (RINCO & MENEZES, 2003). Vários índices podem ser definidos para descrever as propriedades lineares e de área de uma bacia hidrográfica. Alguns deles são medições diretas, como por exemplo, o comprimento do rio principal e a área da bacia. Outros índices são relações entre medidas de alguns componentes da bacia, como por exemplo, a densidade de drenagem (relação entre comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia) e a densidade de canais (relação entre o número de canais e a área da bacia). Alguns índices guardam certa subjetividade, como o comprimento da bacia que pode ser definido de diversas maneiras. Por fim, alguns índices resultam de combinações de outros índices, como por exemplo, o índice de rugosidade, produto da amplitude altimétrica e da densidade de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise dos parâmetros morfométricos do relevo e da rede de drenagem da bacia do Rio Pequeno, situada no município de São José dos Pinhais, Estado do Paraná, visando dar subsídios às diretrizes básicas de ação ambiental sustentáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo do presente trabalho compreende a bacia do rio Pequeno, que está localizada no município de São José dos Pinhais, Paraná, com área aproximada de 128 km², ocupando 14% da área total do município (**figura 1**). A bacia hidrográfica do Rio Pequeno pertence à bacia hidrográfica do Altíssimo Iguaçu, tendo suas nascentes na região conhecida como mananciais da serra (porção ocidental do início da serra do mar), atravessando o norte do município de São José dos Pinhais, sudeste de Curitiba, Estado do Paraná. A orientação principal da drenagem se dá no sentido leste-oeste. Em sua porção sudoeste próxima a sede do município de São José dos Pinhais, ocorre um dos principais focos de expansão urbana da RMC (BRISKI, 2004).

As principais ocorrências geológicas da bacia hidrográfica do Rio Pequeno consistem na Formação Guabirotuba (18%), Complexo Gnáissico Migmatítico (56%), Complexo Granítico Gnáissico, Aluviões Atuais (23%) e Terraços Aluvionares (1%) (CHUEH, 2004).

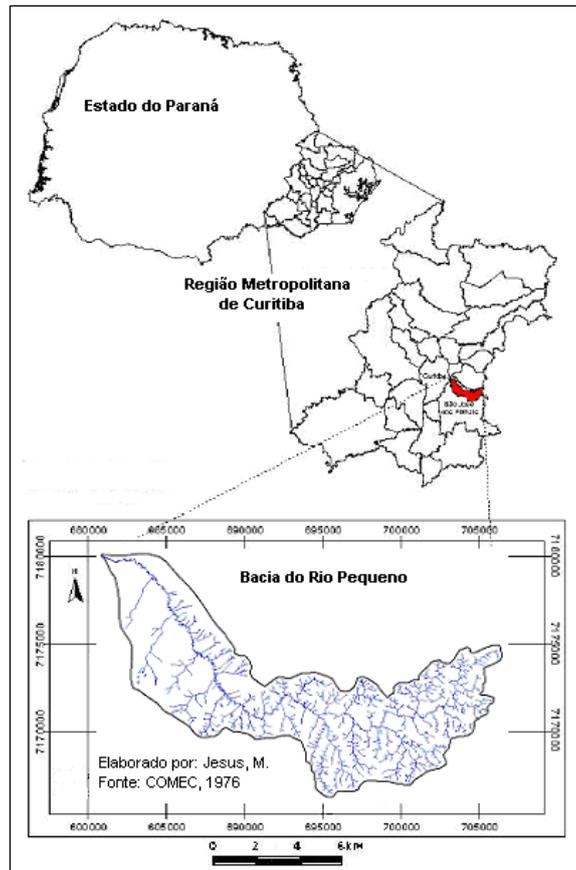


Figura 1 - Mapa da localização geográfica da bacia hidrográfica do rio Pequeno.

Segundo a classificação de Wladimir Köppen, o clima do Município de São José dos Pinhais classifica-se como Cfb – Clima subtropical úmido mesotérmico, de verões frescos e com ocorrência de geadas severas e freqüentes, não apresentando estação seca. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22°C e a dos meses mais frios é inferior a 18°C. Chove o ano todo, com precipitações mensais superiores aos 60 mm, mesmo nos meses mais secos. A umidade aumenta com a proximidade da Serra do Mar (CHUEH, 2004).

Utilizando uma classificação generalizada, a área de estudo é compreendida por dois grandes agrupamentos vegetacionais (IBGE, 1992): à oeste, a Floresta Ombrófila Mista (FOM); e, à leste a Floresta Ombrófila Densa (FOD). Também há grande ocorrência de campos e capões.

Para realizar o levantamento das principais características do meio físico da Bacia do Rio Pequeno foram utilizados os seguintes materiais: (a) Levantamento planialtimétrico em formato vetorial (DWG), com curvas de nível equidistantes de 5,0 metros, baseando-se em cartas na escala 1:10.000 da COMEC, ano 1976 (**figura 2**); (b) Informações geológicas de São José dos Pinhais, na escala 1:100.000 (CHUEH, 2004); (c)

Fotografias aéreas coloridas da SUDERHSA-PR, na escala aproximada de 1:30.000, do dia 20 de junho de 2000; (d) Levantamento de Solos da Bacia do Rio Pequeno, na escala 1:100.000 (CHUEH, 2004); (e) Duas imagens do satélite LANDSAT TM5, dos anos 2000 e 2006); (f) *Software* SPRING versão 4.2 desenvolvido pelo INPE; (g) Computador; (h) Mesa digitalizadora Digigraf, modelo Van Gogh, tamanho A1; e, (i) *Scanner* de mesa tamanho A4.

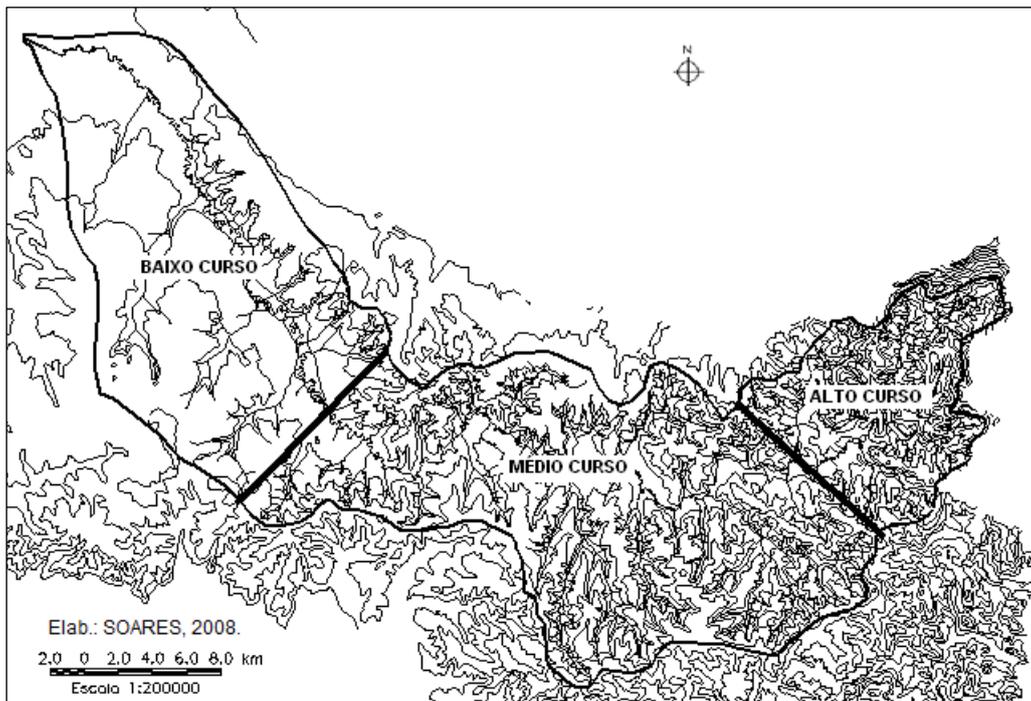


Figura 2 - Delimitação da área e rede hidrográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, compartimentação em alto, médio e baixo cursos e suas curvas de nível.

As variáveis numéricas para a bacia foram obtidas automaticamente, a partir de modelos numéricos de terrenos (MNTs), por meio de ferramentas disponíveis em grande parte do sistema de informações geográficas (JESUS, 2004). Assim, utilizou-se o *software* SPRING para o levantamento das informações cartográficas digitais. Para maior precisão dos resultados, a bacia hidrográfica do Rio Pequeno foi compartimentada (zoneada) em alto, médio e baixo cursos (**figura 2**).

Para realizar a compartimentação da bacia do rio Pequeno, foram utilizados os critérios hidrográficos (densidade hidrográfica e de rios, e linha do divisor de águas), a hipsometria (**figura 2**) e a elaboração do perfil longitudinal do rio principal (**figura 4**). O perfil permitiu a identificação das alterações significativas na declividade do leito do rio Pequeno. Em seguida, foi definida a linha divisória entre os setores alto, médio e baixo cursos. As áreas de cada compartimentação estão apresentadas no **quadro 1**.

Compartimentação	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Alto Curso	20,05	16
Médio Curso	60,41	47
Baixo Curso	48,22	37
Bacia Rio Pequeno	128,68	100

Quadro 1 - Área da bacia hidrográfica do rio Pequeno por compartimentação.

Para a determinação da morfometria da bacia do rio Pequeno, foram levantados dados como: ordem de canais, de acordo com o esquema de ordenação de Strahler (1974); número de canais; perímetro total da bacia; altitudes 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. A base de dados cartográficos foi constituída a partir de mapas digitais do levantamento planialtimétrico elaborados pela COMEC, e georreferenciados com um GPS. Os mapas foram gerados em formato digital utilizando-se *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) denominado SPRING.

Os parâmetros morfométricos referentes à análise linear (CHRISTOFOLETTI, 1980), areal e hipsométrica da rede hidrográfica da bacia do rio Pequeno, foram calculados com as equações específicas apresentadas no **quadro 2**. Foram avaliados, também, os índices de cobertura da bacia por compartimento (alto, médio e baixo cursos). Para a avaliação, mapearam-se os tipos de cobertura (mata, capoeira, campo, agricultura e áreas urbanas). Mediram-se as áreas de cada unidade e ponderaram-se os resultados, atribuindo pesos (**quadro 2**). Maiores detalhes sobre o levantamento podem ser encontrados em Soares (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia do rio Pequeno possui 128 km² de área de drenagem, 23,2 km de eixo e 72,7 km de perímetro (**quadro 3**). A altitude da bacia variou de 800 m a 1.100 m. Verificou-se a existência de hierarquia fluvial de 5ª ordem pela classificação de Strahler (1974) (**quadro 4 e figura 3**). A bacia apresentou 758 segmentos com extensão total de 337 km, sendo: 157 km de extensão para os 580 segmentos de primeira ordem; 79 km para 136 segmentos de segunda ordem; 39 km para 33 segmentos de terceira ordem; 13 km de extensão para oito segmentos de quarta ordem; e, 49 km de extensão para o segmento de quinta ordem (**figura 3**).

Parâmetro morfométrico	Equação	Variáveis
(a) Análise linear da rede hidrográfica		
<i>Rlm</i> – relação entre os comprimentos médios dos canais de cada ordem (adimensional)	$Rlm = \frac{Lm_w}{Lm_{w-1}}$	<i>Lm_w</i> – comprimento médio dos canais de determinada ordem (km); <i>Lm_{w-1}</i> – comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior (km).
<i>L</i> – comprimento do rio principal (km)	<i>L</i>	Distância da nascente mais distante até a foz (km)
<i>Eps</i> – extensão do percurso superficial (km)	$Eps = \frac{1}{2 \cdot Dd}$	<i>Dd</i> – densidade de drenagem (km km ⁻²).
<i>G</i> – gradiente dos canais (%)	$G = (H - \frac{h}{L}) \cdot 100$	<i>H</i> – altitude da nascente (m); <i>h</i> – altitude da foz (m); <i>L</i> – Comprimento do rio principal (km).
<i>I_{sin}</i> – índice de sinuosidade (adimensional)	$I_{sin} = \frac{L}{Lt}$	<i>L</i> – comprimento do rio principal (km); <i>Lt</i> – comprimento do eixo da bacia (km).
<i>Lm</i> – comprimento médio dos rios (km)	$Lm = \frac{Lu}{Nu}$	<i>Lu</i> – extensão total dos rios (km); <i>Nu</i> – número total de rios (quantidade).
(b) Análise areal da rede hidrográfica		
<i>A</i> – Área da bacia (m ² ou km ²)	<i>A</i>	refere-se a toda área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, fornecida em m ² ou km ² , principalmente.
<i>Ff</i> – fator forma da bacia (adimensional)	$Ff = \frac{A}{L^2}$	<i>A</i> – área da bacia (km ²); <i>L</i> – comprimento do eixo (km).
<i>K_c</i> – índice de compacidade (adimensional)	$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi} \cdot A}$	<i>P</i> – perímetro da bacia (km); <i>A</i> – área da bacia (km ²).
<i>Dr</i> – densidade de rios (rios km ⁻²)	$Dr = \frac{N}{A}$	<i>N</i> – número de nascentes (quantidade); <i>A</i> – área da bacia (km ²).
<i>Dd</i> – densidade de drenagem (km km ⁻²)	$Dd = \frac{Lt}{A}$	<i>Lt</i> – comprimento total dos canais (km); <i>A</i> – área da bacia (km ²).
<i>Cm</i> – coeficiente de manutenção (m ² m ⁻¹)	$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$	<i>Dd</i> – densidade de drenagem (km km ⁻²).
(c) Análise hipsométrica da rede hidrográfica		
<i>Hm</i> – amplitude altimétrica máxima da bacia (m)	$Hm = AN - AF$	<i>AF</i> – altitude da foz (m); <i>NA</i> – altitude do ponto mais alto do divisor topográfico (m).
<i>R_r</i> – relação de relevo (m m ⁻¹)	$R_r = \frac{Hm}{Lb}$	<i>Hm</i> – amplitude topográfica máxima (m); <i>Lb</i> – comprimento da bacia (m).
<i>lr</i> – índice de rugosidade (adimensional)	$lr = H \cdot Dd$	<i>H</i> – amplitude altimétrica (km); <i>Dd</i> – densidade de drenagem (km km ⁻²).
<i>Tt</i> – textura topográfica (adimensional)	$Tt = \frac{1,6582462}{Dd^{1,115}}$	<i>Dd</i> – densidade de drenagem (km km ⁻²).
(d) Índice de cobertura da bacia por compartimento (alto, médio e baixo cursos)		
<i>Ics</i> – índice de cobertura do solo (adimensional)	$Ics = \frac{\sum_{i=1}^n Au_i \cdot p_i}{A}$	<i>Au_i</i> – área de cada <i>i</i> -ésimo tipo ou unidade de cobertura (km ²); <i>p</i> – pesos de cada <i>i</i> -ésimo tipo ou unidade de cobertura – mata: 1, capoeira: 0,7, campo: 0,6, agricultura: 0,4 e áreas urbanas: 0,1 (adimensional); <i>A</i> – área total da bacia (km ²); <i>n</i> – número de tipos ou unidades de cobertura (unidade).

Quadro 2 - Equações utilizadas para o cálculo dos parâmetros morfométricos referentes à análise linear, areal e hipsométrica da rede hidrográfica.

Parâmetro	Valores e unidades	Parâmetro	Valores e unidades
Ordem da bacia	5 ^a	Coefficiente de manutenção	383,14 m ² m ⁻¹
Perímetro	72,72 km	Textura topográfica	0,5689
Área de drenagem	128,68 km ²	Fator forma	0,24
Eixo da bacia	23,2 km	Índice de compacidade	1,8
Comprimento do canal principal	56,4 km	Altitude máxima	1100 m
Comprimento médio dos canais	0,44 km	Altitude mínima	800 m
Densidade de drenagem	2,61 km km ⁻²	Amplitude altimétrica	300 m
Densidade de rios	4,51 rios km ⁻²	Comprimento total dos canais	337 km
Extensão percurso superficial	0,19 km	Número de canais	758
Índice de sinuosidade	2,43	Gradiente canal principal	0,53%
Relação de relevo	10,32 km km ⁻¹	Gradiente canais margem direita	0,16%
Índice de rugosidade	783	Gradiente canais margem esquerda	0,30%

Quadro 3 - Parâmetros morfométricos (areal, linear e hipsométrico) da bacia do rio Pequeno.

Ordem	Número de segmentos	Relação de bifurcação (<i>Rb</i>)	Comprimento médio dos canais de cada ordem	Relação entre comprimento médio dos canais (<i>Rlm</i>)
	(unidade)	(adimensional)	(km)	(adimensional)
1 ^a	580	—	0,27	—
2 ^a	136	4,26	0,58	2,15
3 ^a	33	4,12	1,17	2,02
4 ^a	8	4,13	1,61	1,38
5 ^a	1	8,00	49,01	30,44
Total	758		52,37	

Quadro 4 - Parâmetros morfométricos da bacia do rio Pequeno, segundo Horton (1945).

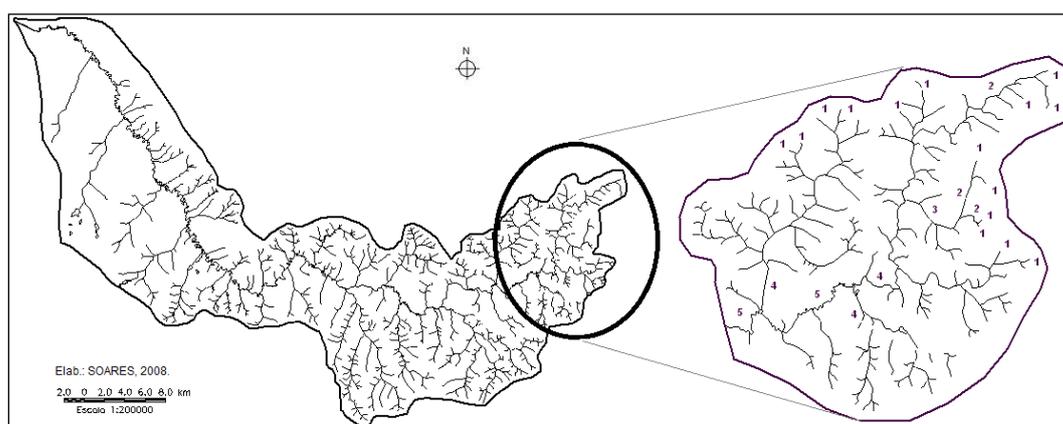


Figura 3 - Classificação da hierarquia fluvial pelo método de Strahler (1974), no curso superior da bacia do rio Pequeno.

Os parâmetros calculados para a análise morfométrica da bacia do rio Pequeno indicaram controle geológico, pois ocorreram distorções significativas na composição das séries geométricas, devido ao controle lito-estrutural (GARBOSSA, 2003). Esse fato se confirma na rede hidrográfica em estudo pelos resultados obtidos, em que o controle do substrato geológico foi bastante evidenciado no desenvolvimento do comprimento médio do canal de 5ª ordem ($Rm = 49,01$ km), bem como na relação de bifurcação, em que ocorreu distúrbio muito significativo ($Rb = 8$). Analisando o **quadro 5** nota-se que esse fato se caracteriza a partir do Médio ($Rm = 20,7$ km) e Baixo ($Rm = 25,4$ km) curso da bacia, na linha dos canais de 5ª ordem. Em relação aos demais canais, os resultados obtidos indicaram que a rede de drenagem da bacia do rio Pequeno é controlada principalmente pelo canal de 5ª ordem (JESUS, 2004). O comprimento médio dos canais de 1ª ordem, em relação às demais ordens, confirma o pressuposto de que existe uma progressão geométrica direta com o aumento da ordem, seguindo a segunda lei hortoniana, evidenciando a tendência natural dos canais de primeira ordem serem mais curtos (MILANI & CANALI, 2000).

Conforme evidenciado pelo mapa geológico (**figura 4**), o rio Pequeno apresenta padrão de drenagem predominantemente dendrítico e vales abertos, relacionado às características geológicas e geotectônicas da área, sendo, portanto, importante elemento diagnóstico e interpretativo. Constitui um padrão em que os talwegues possuem variados comprimentos e não têm nenhuma orientação preferencial, ou uma organização sistemática (MELLO *et al.*, 2005).

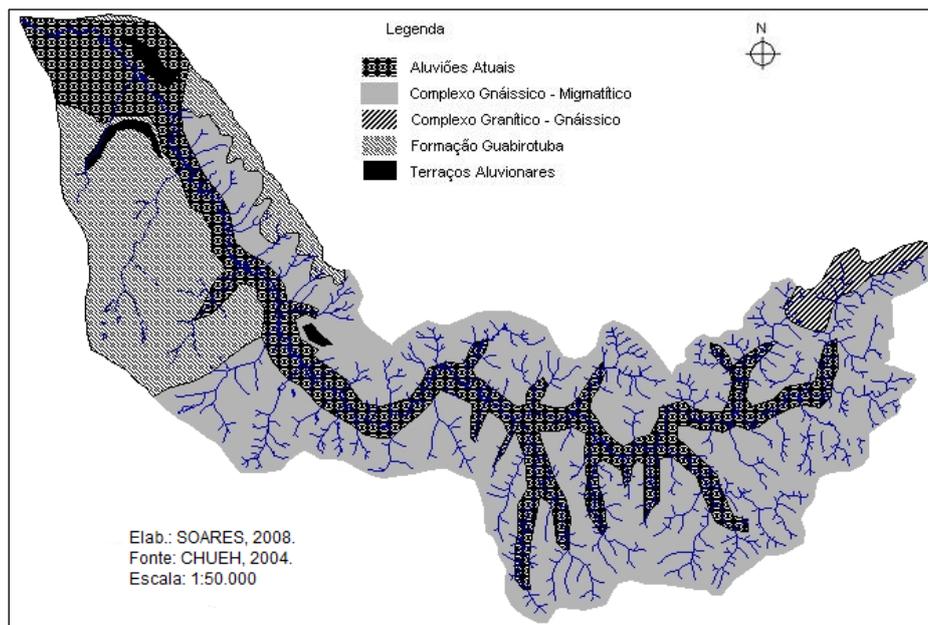


Figura 4 - Mapa geológico da bacia do rio Pequeno contendo as principais ocorrências geológicas.

Ordem	----- Alto Curso -----			----- Médio Curso -----			----- Baixo Curso -----		
	NC * (unidade)	CS * (km)	CM* (km)	NC * (unidade)	CS * (km)	CM * (km)	NC * (unidade)	CS * (km)	CM * (km)
1ª	152	35,3	0,23	350	90,9	0,26	78	30,8	0,39
2ª	33	16,8	0,51	81	44,2	0,54	22	18,0	0,82
3ª	10	10,2	1,02	17	22,7	1,34	6	6,1	1,02
4ª	3	5,9	1,97	4	6,0	1,5	1	1,1	1,1
5ª	1	2,9	2,9	1	20,7	20,7	1	25,4	25,4

Quadro 5 - Parâmetros morfométricos da bacia do rio Pequeno por compartimento, segundo Horton (1945). (*Legenda: NC – nº de canais; CS – comprimento de cada segmento (km); CM – comprimento médio (km)).

A Extensão do Percurso Superficial (*Eps*) representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente. A bacia do rio Pequeno, como um todo, apresentou Extensão do Percurso Superficial (*Eps*) de 190 metros. A *Eps* apresentou maior valor para o baixo curso (296 m) do que para o alto (141m) e médio (164m) compartimento, devido à concentração das declividades baixas e de solos com baixo grau de infiltração nesse setor (**quadro 6**). O valor de *Eps* (190 m) se relaciona com o índice de textura topográfica, que para bacia hidrográfica do rio Pequeno é considerado baixo ($Tt = 0,5689$), por apresentar espaçamento estreito entre os cursos d'água. Essa característica vem confirmar o escoamento rápido das águas pluviais para os canais que integram a bacia (POLITANO & PISSARRA, 2003).

Compartimento	<i>Eps</i> * (km)	<i>G</i> * (%)	<i>Cm</i> * (m ² m ⁻¹)	<i>Rr</i> * (km km ⁻¹)	<i>Dd</i> * (km km ⁻²)	<i>Dr</i> * (rios km ⁻²)
Alto Curso	0,141	20,45	281,69	29,03	3,55	7,58
Médio Curso	0,164	4,50	327,87	7,58	3,05	5,79
Baixo Curso	0,296	4,72	591,72	11,01	1,69	1,61
Bacia do Rio Pequeno	0,190	0,53	370,37	12,9	2,70	4,50

Quadro 6 - Parâmetros morfométricos da bacia do rio Pequeno por compartimento, segundo Horton (1945). (*Legenda: *Eps* – extensão do percurso superficial; *G* – gradiente de canais; *Cm* – coeficiente de manutenção; *Rr* – relação de relevo; *Dd* – densidade de drenagem; *Dr* – densidade de rios.)

O grau de inclinação do rio Pequeno, representado pelo resultado do gradiente do canal principal ($G = 0,53\%$), indicou, de forma generalizada, caimento suave e baixa declividade da bacia. Sem considerar outros fatores, o tipo de gradiente verificado permite que a velocidade da água seja menor, contribuindo para que a erosão também seja menor na bacia. Entretanto, ao analisar o **quadro 6**, verificou-se para os diferentes compartimentos da bacia (alto, médio e baixo cursos) que a maior concentração da inclinação do relevo ocorreu no terço superior da área em estudo ($G = 20,45\%$). Nesse setor a fragilidade natural é mais evidente e os processos erosivos mais acentuados devido à concentração de alta

declividade. Essa situação pode ser visualizada no perfil longitudinal da bacia apresentado na **figura 5**, permitindo verificar como ocorre o caimento do terreno da nascente até foz do rio principal. Para Santos (2005), a baixa velocidade da água devido à declividade pode agir como agravante na ocorrência de enchentes da bacia hidrográfica. Por outro lado, o escoamento rápido, também implica na aceleração do processo de retirada do solo, ocasionado pela erosão. Portanto, verifica-se que é imprescindível o equilíbrio entre infiltração e escoamento superficial, bem como a preservação da vegetação, para que as áreas não impermeabilizadas tornem-se passíveis dos processos erosivos.

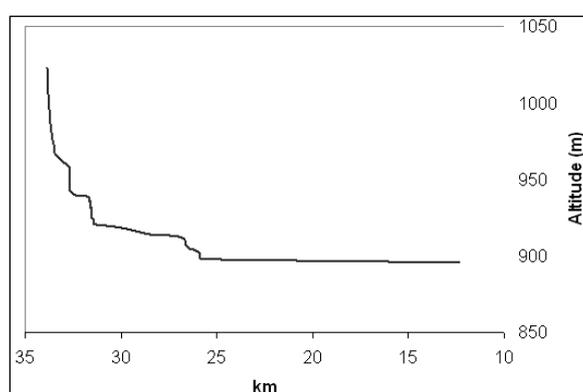


Figura 5 - Perfil longitudinal da bacia do rio Pequeno.

Analisando o relevo, conforme mostrado na **figura 6**, por meio dos graus de inclinação das margens esquerda (0,30%) e direita (0,16%) da bacia do rio Pequeno, verificou-se a existência de setores mais íngremes na margem esquerda. Dessa forma, a bacia caracterizou-se por ser assimétrica, ou seja, as vertentes da margem esquerda predominantemente possuem gradientes de inclinação mais fortes, quando comparado aos gradientes das vertentes da margem direita. Na margem esquerda há o predomínio de relevo ondulado, enquanto na margem direita predominam áreas com relevo suave ondulado. A diferença de declividade entre margens esquerda e direita pressupõe escoamento superficial diferenciado para cada margem da bacia hidrográfica.

O resultado para o índice de sinuosidade ($I_{sin} = 2,43$) indicou para os rios da bacia, principalmente para o rio principal, que eles possuem tendência a serem sinuosos. Valores inferiores a 2,0 indicam a presença de canais retilíneos, com pequena capacidade de acúmulo de sedimentos (JESUS, 2004). O rio Pequeno apresenta, em vários trechos, acúmulo de sedimentos e processos erosivos devido à sinuosidade, intensificados pela ação antrópica, principalmente no curso inferior do rio, próximo à foz.

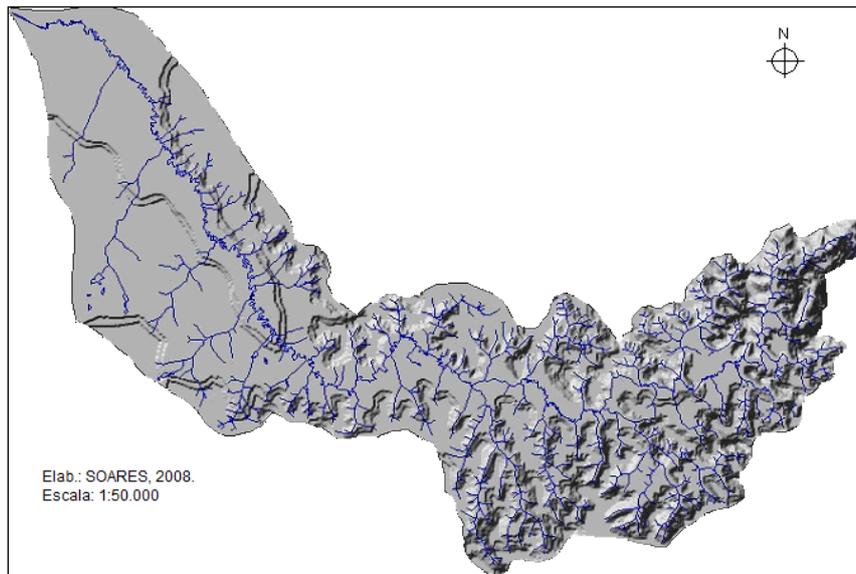


Figura 6 - Representação do relevo sombreado da bacia do Rio Pequeno.

Os valores dos parâmetros calculados para a análise morfométrica, referentes à análise areal da bacia do rio Pequeno, permitiram verificar que:

(a) O fator forma ($Ff = 0,24$), que apresentou valor próximo à zero, e o índice de compacidade ($Kc = 1,8$) indicaram que a bacia possui forma alongada, com baixa propensão à ocorrência de cheias momentâneas (BRISKI, 2004; GARBOSSA, 2003; JESUS, 2004);

(b) A densidade de drenagem (Dd) confirma o alto grau de dissecação topográfica, sendo um bom indicador da impermeabilidade do solo. De acordo com a distribuição dos solos na bacia do rio Pequeno, conforme **figura 7**, o resultado obtido é coerente com os solos das nascentes da bacia (Cambissolo), que apresentam maior impermeabilidade em relação aos demais solos da área estudada, principalmente pela associação à alta declividade, dominando assim o escoamento superficial em relação à infiltração. Já os solos arenosos, são mais permeáveis e, com isso, apresentam densidade de drenagem menor. Segundo Alcântara & Amorim (2005), os parâmetros para a interpretação da Dd podem variar de $0,5 \text{ km km}^{-2}$, para bacias com drenagem pobre, a $3,5 \text{ km km}^{-2}$, para bacias excepcionalmente bem drenadas. Baseando-se nessas informações, e relacionando a Dd com a Dr (**quadro 6**) da bacia do rio Pequeno, que apresentaram valores altos, $2,7 \text{ km km}^{-2}$ e $4,5 \text{ rios km}^{-2}$, respectivamente, verificou-se realmente a existência de desequilíbrio entre infiltração e escoamento superficial. Os resultados obtidos, principalmente para Dr , indicam grande riqueza de cursos d'água. Na região do curso superior da bacia do rio

Pequeno, o número de canais de 1ª ordem é maior, o que eleva a Dd e Dr consideravelmente para $3,55 \text{ km km}^{-2}$ e $7,58 \text{ rios km}^{-2}$, respectivamente. Esse fato se deve principalmente a predominância dos Cambissolos – solos em formação, muito frágeis devido à sua capacidade de se desprender pelo impacto das gotas de chuva. Também pelo fato de ser um solo que, associado à alta declividade, produz selamento superficial, dificultando a infiltração de água e propiciando o aumento do escoamento superficial. Em consequência ao escoamento, a erosão também contribui para que a densidade de rios seja alta na área (MELLO *et al.*, 2005). Nos locais com predominância do Latossolo, por exemplo, o número de canais diminuiu. Mesmo possuindo teor elevado de argila, esse fato ocorre porque se trata de um solo mais poroso, e, conseqüentemente, mais propenso à infiltração. Vale ressaltar também, que a declividade dos canais da bacia do rio Pequeno é baixa, do curso médio a inferior, principalmente nas áreas de planície, o que pode facilitar a infiltração;

(c) O coeficiente de manutenção (Cm) estabelece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento, para que a qualidade hídrica seja mantida em seus valores físicos, químicos e biológicos (SCHUMM, 1956). É considerado um dos índices mais importantes do sistema de drenagem em termos de planejamento ambiental de bacias hidrográficas. No caso da bacia do rio Pequeno como um todo, o valor de Cm foi igual a $370,37 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$, sendo que o compartimento baixo da bacia apresentou Cm maior que o alto e médio cursos (**quadro 6**), indicando que esse compartimento necessita de maior área para manter os canais com qualidade. No entanto, o uso e ocupação da área com atividades antrópicas são intensos nesse compartimento. Como a densidade de drenagem e de rios foi alta, o valor encontrado de Cm mostra que o uso e ocupação da bacia devem ser realizados com restrições, levando-se em consideração seus aspectos de fragilidade ambiental e potencial de uso do solo, para a utilização adequada dos recursos (JESUS, 2004);

(d) A amplitude altimétrica (Hm) da bacia ficou em 300 m. Relacionando esse resultado com os valores para o gradiente do canal principal ($G = 0,53\%$) e eixo da bacia (23,2 km), verificou-se que a maior concentração da inclinação do terreno (98%) está na parte do terço superior a médio da bacia, sendo que apenas 2% ocorreu no terço inferior. Os resultados obtidos confirmam uma dispersão da energia hidráulica superficial, com índices energéticos maiores nos terços superior e médio, diminuindo gradativamente em seu terço inferior, favorecendo a ocorrência de vazão lenta na sua jusante, em função da

amplitude altimétrica (BRISKI, 2004). Na **figura 8** estão apresentados os perfis transversais da bacia do rio Pequeno nos cursos superior, médio e inferior, respectivamente, dando uma noção do relevo da área.

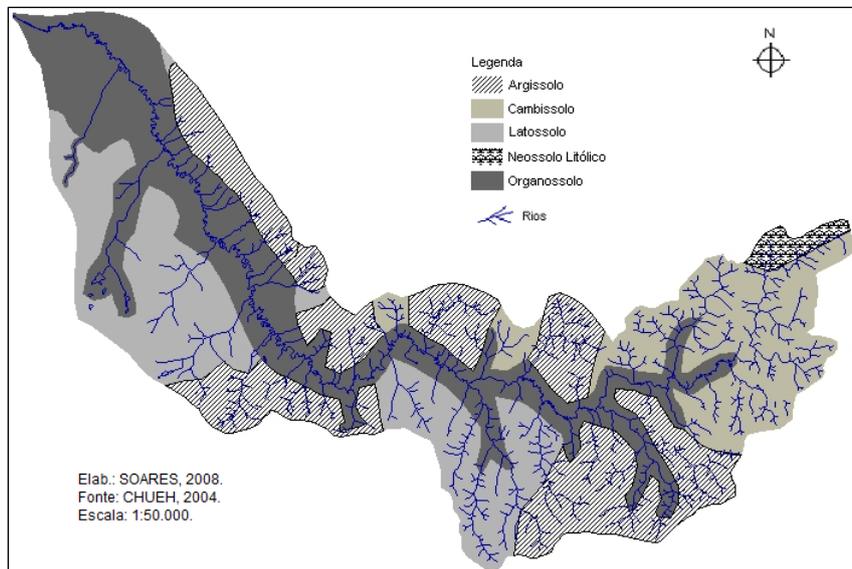


Figura 7 - Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Pequeno, reclassificado conforme o novo sistema brasileiro de classificação de solos da EMBRAPA (1999).

Analisando o perfil transversal da área (**figura 8**), verificou-se que a maioria dos vales da bacia do rio Pequeno ocorre em forma de U. Isto se deve à baixa inclinação da bacia, principalmente nos terços médio à inferior, o que proporciona à área uma vazão lenta, possuindo baixo potencial erosivo. O valor da relação de relevo ($Rr = 12,9 \text{ km km}^{-1}$) e o índice de rugosidade ($Ir = 783$) para a bacia, como um todo, foram baixos e concentraram-se no compartimento superior da bacia, com $Rr = 29,03 \text{ km km}^{-1}$ (**quadro 6**). Esse fato indica vertentes curtas e confirma baixa probabilidade natural de ocorrerem cheias relâmpagos (JESUS, 2004).

Os valores obtidos com os cálculos de índice de cobertura da bacia (Ics), para cada compartimento, estão apresentados nos **quadros 6, 7 e 8**. A avaliação dos resultados a partir da classificação de áreas com diferentes respostas aos aspectos determinantes da fragilidade pelo índice de cobertura do solo (Ics) mostrou, de modo geral, que a bacia do rio Pequeno possui susceptibilidade moderada aos processos naturais desestabilizadores, relativos à movimentação de massa, assoreamento do leito do rio e processos erosivos, com Ics de 61%. No entanto, analisando os dados por compartimento, nota-se que a fragilidade da bacia concentra-se no seu baixo curso ($Ics = 44\%$). Conforme os resultados para o alto e o médio curso da bacia, o Ics foi de 79% e 68%, respectivamente, tendo em

vista a baixa ocorrência de áreas urbanas nos compartimentos, além de boa parte da área estar revestida de cobertura vegetal.

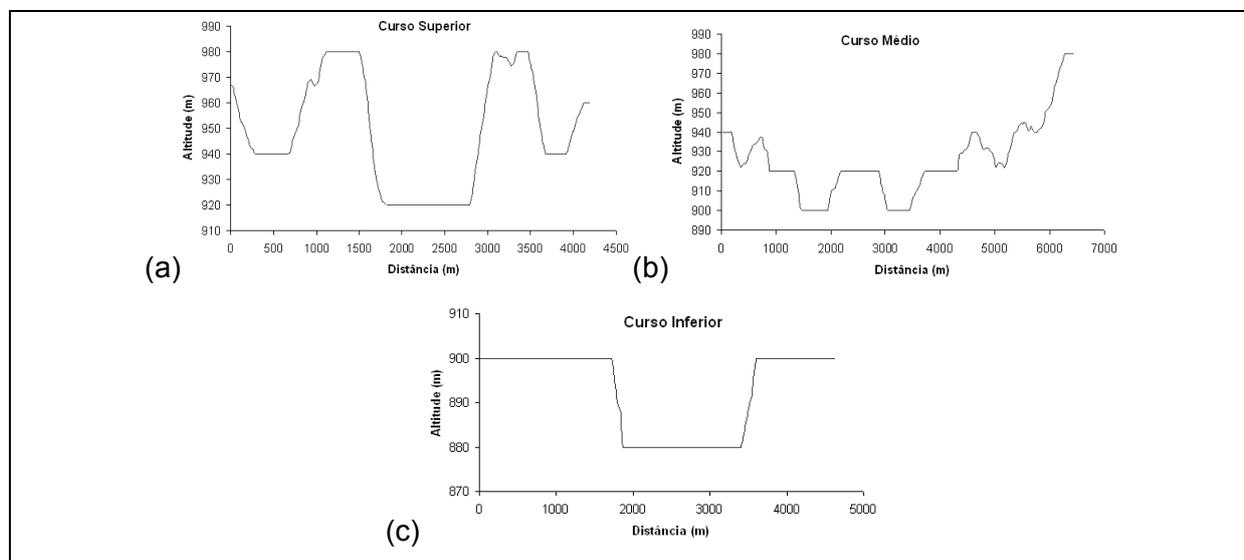


Figura 8 - Perfis transversais da bacia do rio Pequeno: (a) curso superior; (b) curso médio; e, (c) curso inferior.

Usos	Área (km ²)	Percentagem (%)
Mata Florestas	25,60	20
Capoeira	40,96	32
Campo ou pastagem	19,20	15
Agricultura	26,88	21
Áreas urbanas	15,36	12
Total	128,00	100

Quadro 7 - Uso e cobertura do solo da bacia do rio Pequeno no ano de 2006.

Usos	----- Compartimentos -----		
	Alto (20,05 km ²)	Médio (60,41 km ²)	Baixo (48,22 km ²)
Mata	10,2 · 1 = 10,2	11,3 · 1 = 11,3	4,1 · 1 = 4,1
Capoeira	5,11 · 0,7 = 3,6	29,15 · 0,7 = 20,4	6,7 · 0,7 = 4,7
Campo	2,45 · 0,6 = 1,5	12,96 · 0,6 = 7,8	3,8 · 0,6 = 2,3
Agricultura	1,28 · 0,4 = 0,5	2,56 · 0,4 = 1,0	23,0 · 0,4 = 9,2
Áreas urbanas	1,01 · 0,1 = 0,1	4,3 · 0,1 = 0,4	10,5 · 0,1 = 1,1
Ics	0,79 = 79%	0,68 = 68%	0,44 = 44%

Quadro 8 - Índice de cobertura do solo (Ics) da bacia do rio Pequeno.

Considerando a mesma metodologia, ou seja, analisando os fatores morfométricos na avaliação de áreas com maiores pré-disposições aos efeitos modificadores da estabilidade, outros autores observaram resultados semelhantes aos apresentados no presente estudo.

Alves & Castro (2003), ao avaliar a influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque, em Minas Gérias, concluíram que os valores obtidos para a relação de relevo, densidade hidrográfica, gradiente de canais, índice de circularidade e índice de sinuosidade, são influenciados pelo controle geológico. Pissarra *et al.* (2004), ao analisarem as características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude, em Latossolo Vermelho-Escuro e Argissolo Vermelho-Amarelo, com vistas ao planejamento agroambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, município de Jaboticabal-SP, concluíram que: (a) as características do padrão de drenagem e do relevo repercutiram no comportamento hidrológico e litológico das microbacias hidrográficas, possibilitando a diferenciação entre as unidades de solos; (b) a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica foram as características que mais contribuíram para o poder discriminatório na relação solo-superfície. Visando auxiliar na compreensão da vulnerabilidade natural dos terrenos às intervenções antrópicas, na compreensão dos processos erosivos e definição do zoneamento territorial, Santos & Sobreira (2008) aplicaram a metodologia em três bacias hidrográficas distintas. Os autores concluíram que parâmetros morfométricos contribuem para a compreensão da vulnerabilidade de terrenos à erosão, permitindo melhor ordenamento territorial de bacias hidrográficas. Da mesma forma, Antoneli & Thomaz (2007) concluíram que as quantificações de parâmetros morfométricos contribuem para o planejamento de uso do solo, sendo necessário adequar o uso do solo para evitar a degradação das terras agrícolas.

CONCLUSÕES

A análise morfométrica mostrou que a bacia possui controle lito-estrutural, forma alongada, alta densidade de drenagem e de rios no curso superior da bacia, onde se concentram os maiores declives. A área da bacia apresentou predomínio do escoamento superficial à infiltração.

Os parâmetros analisados possibilitaram melhor compreensão da vulnerabilidade natural à erosão da bacia do rio Pequeno, informações importantes na definição do zoneamento e ordenamento territorial de bacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, E. H.; AMORIM, A. J. Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo de caso. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 14, p. 70-77, 2005.
- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista - Guamiranga-PR. **Revista on line Caminhos da Geografia**, v. 8, n. 21, p. 46-58, 2007.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. 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. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.
- BRISKI, S. J. **Análise do meio físico como suporte ao planejamento ambiental e gestão territorial do alto curso da bacia hidrográfica do rio Iguaçu – PR** (considerando os aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos). 2004. 206 p. Dissertação (Mestrado em Geologia), UFPR. Curitiba, 2004.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CHUEH, A. M. **Análise do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do rio Pequeno – São José dos Pinhais-PR, por meio do diagnóstico físico-conservacionista – DFC**. 2004. 102 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) UFPR. Curitiba, 2004.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Solos, 1999.
- GARBOSSA, R.A. **O controle litoestrutural na organização espacial da bacia do rio Tagaçaba (Paraná): uma análise morfométrica da rede de drenagem**. 2003. 136 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) UFPR. Curitiba, 2003.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992.
- JESUS, M. R. G. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Cambuí no perímetro urbano de Campo Largo - PR**. 2004. 116 páginas. Monografia (Graduação em Geografia) Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba, 2004.
- MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, D. F.; LIMA, J.M.; LOPES, D. Modelos para determinação dos parâmetros da equação de van Genuchten para um Cambissolo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 9, n. 1, p. 23-29, 2005.
- MILANI, J. R.; CANALI, N. E. O sistema hidrográfico do rio Matinhos: uma análise morfométrica. **Revista Ra'ega**, v. 4, n. 4, p. 139-152, 2000.
- PARANÁ: **Projeções das populações municipais por sexo e idade, 2000-2010**, Curitiba: IPARDES/IBGE, 2000.
- PISSARRA, T. C. T.; PLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 297-305, 2004.
- POLITANO, W.; PISSARRA, T. C. T. Relações entre características morfométricas quantitativas e estimativa da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 23, n. 1, p. 179-186, 2003.
- REIS NAKASHIMA, M. S. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 6, p. 1547-1560, 2001.

RINCO, L.; MENEZES, S. O. Urbanização e desequilíbrio sócio-ambiental na microbacia do ribeirão do Yungue, Juiz de Fora - MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10, Rio de Janeiro, 2003. **Geo UERJ Revista do Departamento de Geografia**, 2003. v. Especial.

SANTOS, C. A.; SOBREIRA, F. G. Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Bação e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. **Revista Escola de Minas (REM)**, v. 61, n. 1, p. 77-85, 2008.

SANTOS, E. **Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Jirau município de Dois Vizinhos - Paraná**. 2005. 128 páginas. Dissertação (Mestrado em Geografia) UFPR. Curitiba, 2005.

SOARES, M.R.G.J. **Potencial de uso agrícola e fragilidade ambiental como instrumentos voltados ao planejamento da bacia do rio Pequeno - Paraná**. 2008. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)UFPR. Curitiba, 2008.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes badlands or Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**. n. 67, p. 597-646, 1956.

STRAHLER, A. **Geografia Física**. Barcelona: Omega, 1974, 550 p.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**. n. 20, p. 137-155, 2007.

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

SOARES, Marcia Regina Gomes de Jesus; SOUZA, Jorge Luiz Moretti de. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Geografia (Londrina)**, Londrina, v. 21, n. 1, p. 019-036, jan./abr. 2012.

URL: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia>>

EDITOR DE SEÇÃO:

Mirian Vizintim Fernandes Barros & Edison Archela.