

MÉTODOS E TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADOS À OBTENÇÃO DE PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS FLUVIAIS

Francisco Roberto Brandão FERREIRA¹

Resumo

Este trabalho oferece uma perspectiva de estudo dos aspectos da morfometria fluvial, onde desenvolve e testa procedimentos de parâmetros de bacias hidrográficas, tendo como agente executor os meios e avanços tecnológicos, utilizando para isto, os sistemas de informação geográfica (SIG). Para o seu desenvolvimento foi escolhido um conjunto de 20 bacias hidrográficas no alto curso da bacia do rio Corumbataí, no estado de São Paulo, Brasil. O estudo visa também determinar valores de parâmetros lineares e areais das bacias, bem como realizar um estudo comparativo entre os métodos de obtenção destes parâmetros, isto é, o convencional e o digital, tendo como base de análise as técnicas estatísticas de regressão linear e de correlação existente entre os métodos.

Palavras-chave: Geomorfologia Fluvial, Morfometria Fluvial, Geoprocessamento, SIG.

Abstract

Methods and techniques of geoprocessing applied for obtaining fluvial geomorphological parameters

This work offers a perspective for the study of the aspects of the fluvial morphometry, developing and testing procedures of parameters of drainage basins, by means of technological progresses, using, for this, the geographical information systems (GIS). For its development it was chosen a group of 20 drainage basins in the high course of the basin of the river Corumbataí, in the state of São Paulo, Brazil. The study also seeks to determine values of linear and areal parameters of the drainage basins, as well as to do a comparative study between the conventional and the digital methods of obtaining these parameters, supported by statistical techniques of linear regression and correlation between the method's results.

Key words: Fluvial Geomorphology, Fluvial Morphometry, Geoprocessing, GIS.

¹ Professor do CEFET - MA e Doutorando em Geografia da Unesp - Rio Claro - e-mail: brandaoferreira@aol.com

INTRODUÇÃO

Com o intuito de estreitar um pouco mais as potencialidades da geografia física, mais especificamente da geomorfologia fluvial, com os avanços tecnológicos, colocou-se o propósito de realizar um estudo que mostrasse a evolução dos métodos de obtenção dos parâmetros morfométricos de canais fluviais, uma vez que, no âmbito da ciência geográfica brasileira é comum verificarmos o uso de processos, métodos e técnicas de obtenção de dados de forma convencional, ignorando o uso de novas tecnologias, como o geoprocessamento, o sensoriamento remoto, os sistemas de informação geográfica, a cartografia digital, dentre outros.

Este estudo visa também determinar valores de parâmetros morfométricos lineares e areais dos canais fluviais, através de técnicas de análise espacial inseridas em sistemas de informação geográfica, bem como, realizar um estudo comparativo entre os métodos de obtenção dos parâmetros morfométricos, isto é, o analógico e o digital, tendo como base de discussão a regressão e correlação linear existente entre os métodos, dando ênfase também ao tempo de execução de cada um deles, a facilidade ou dificuldade de atualização dos dados e, a qualidade gráfica obtida.

REVISÃO DA LITERATURA

Os Pressupostos da Geomorfologia Fluvial

A geomorfologia fluvial preocupa-se principalmente em estudar os processos e as formas relacionadas com o escoamento dos rios. A água, em seu curso para o mar através da superfície da Terra, em conjunto com as forças endógenas, é o agente predominante na alteração da paisagem. A carga de sedimentos dos cursos d'água é fornecida através do intemperismo superficial e das dissoluções por água subterrânea, além disto, os escorregamentos podem descarregar grande quantidade de detritos de rochas no sopé de uma encosta, mas são os rios que realizam a grande maioria do trabalho de transporte dos detritos dos continentes para o mar.

Os estudos morfométricos em geomorfologia surgiram, a princípio, para a análise das formas de relevo a partir de procedimentos sistemáticos e racionais. Estudos e trabalhos publicados por Horton (1945), a quem se evidencia a primazia de efetivar a interpretação quantitativa das bacias de drenagem, foi de extrema importância, pois além de marcar uma nova fase da morfometria através de proposições de vários aspectos de cunho analítico para os rios, despertou também grande interesse e considerável desenvolvimento para uma nova abordagem metodológica.

Ao tratar da questão do crescimento da rede de drenagem, Schumm (1977) enumerou as condições necessárias para que ocorresse a adição de um novo tributário, definindo o conceito de área de drenagem mínima requerida para suportar uma unidade de canal. A gravidade interfere na força de coesão da água, traçando redes de drenagem, nas quais os tributários de primeira ordem se juntam para formar cursos de segunda ordem, até que ou todos os caminhos se juntam em um único rio principal ou divergem além de qualquer junção provável. A frequência com que os cursos d'água se juntam entre sucessivas junções depende de regras originais da natureza. Se uma parte da rede é conhecida, outras poderão ser previstas, pois na natureza verifica-se a estrutura rochosa do embasamento, os declives tectônicos e a história prévia da erosão.

Para Christofolletti (1985) os estudos relacionados com as drenagens fluviais sempre possuíram função relevante na geomorfologia e a análise da rede hidrográfica pode levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos de água constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre. Christofolletti (1981) ainda demonstrou que os índices morfométricos propostos para se estudar analiticamente uma bacia hidrográfica podem ser subdivididos em quatro níveis: hierarquia fluvial; análise linear; análise areal e análise hipsométrica.

A hierarquia fluvial estabelece a classificação ordenada de determinado curso d'água em relação ao conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra, facilitando assim os estudos morfométricos das bacias hidrográficas. A proposição realizada por Strahler (1952) é a mais utilizada, em virtude do caráter descritivo e do relacionamento com as leis da composição da drenagem. Têm-se então os seguintes termos e conceitos: rede fluvial ou de canais; fonte ou nascente; desembocadura; confluência ou junção; segmento fluvial e ligamentos ou ligações "*links*".

A análise linear envolve os índices e relações da rede hidrográfica, onde os cálculos são efetuados ao longo das linhas de escoamento. Dentre os principais parâmetros lineares enumerados por Horton (1945) podemos destacar: taxa de bifurcação; comprimento médio dos canais de cada ordem; relação entre o comprimento médio dos canais; comprimento do rio principal; relação do equivalente vetorial; gradiente dos canais.

A análise areal das bacias hidrográficas engloba vários índices onde aparecem medidas planimétricas, podendo ser citados os seguintes parâmetros também expostos por Horton (1945): área da bacia; comprimento da bacia; relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia; índice de circularidade; forma da bacia; densidade de drenagem; densidade de segmentos da bacia; frequência de canais de 1ª ordem; relação entre áreas das bacias; coeficiente de manutenção.

A análise hipsométrica estuda as inter-relações que existem em determinada unidade horizontal do espaço em relação às faixas altitudinais onde, partindo-se do estabelecimento das curvas hipsométricas define-se o coeficiente de massividade do relevo e o coeficiente orográfico. Pode-se obter também, a amplitude altimétrica máxima de uma bacia hidrográfica, a relação de relevo e o índice de rugosidade.

A análise morfométrica, no entanto, baseia-se na coleta de informações pertinentes a estes parâmetros ou variáveis anteriormente descritos, surgindo então, as atividades de campo como complementação e comprovação de técnicas e leituras bibliográficas.

Aplicações de SIG em análise de Bacias Hidrográficas

O estudo de aplicações de sistemas de informação geográfica (SIG) voltados para análise de bacias hidrográficas se desenvolveu com maior proporção nos anos 90, tanto pela aplicação de modelos já existentes como na evolução de novos modelos, ou ainda na fundamentação metodológica do uso de SIG. Alguns trabalhos são aqui colocados com o intuito de mostrar estas evidências.

Ferreira (1996) mostrou resultados obtidos com base na hierarquização de bacias hidrográficas com aplicações de técnicas de SIG, tendo como consequência à regionalização das bacias.

Jenson (1992) usou métodos digitais para delimitar os divisores de bacias hidrográficas para um levantamento topográfico e fluxo de sedimentos geoquímicos. Comparou os resultados de declividade derivados do modelo digital de terreno (MDT)

de várias resoluções. Além disso, verificou que o MDT pode ser usado para derivar diversas informações sobre a morfologia da superfície, através de análises "raster" para cálculos de declividade e proteção de relevo.

Castro (1995) analisou comparativamente informações morfométricas obtidas por procedimentos convencionais e por procedimentos digitais. Deu destaque para a declividade e orientação de vertentes. Utilizou a cartografia sistemática para a aplicação convencional e o SIG para procedimentos digitais. Os mapeamentos elaborados a partir dos dois métodos, mostraram que ambos apresentaram bom nível de precisão, porém o método digital mostrou-se mais rápido e com maior riqueza de detalhamento das informações nas escalas trabalhadas.

Ferreira (1999) elaborou um procedimento metodológico com uso do SIG para a análise espacial da densidade de drenagem em bacias hidrográficas. Construiu modelos digitais de distâncias interfluviais utilizando como referência rede de drenagem. Mostrou que o desvio padrão das distâncias interfluviais é o parâmetro mais adequado para se estimar a densidade de drenagem de uma bacia. Este método permite a interpretação da variabilidade espacial da densidade de drenagem, bem como o mapeamento de unidades de resposta hidrológica de uma bacia.

Realizando estudos em áreas montanhosas do Japão, Oguchi (1997) demonstrou que a densidade de drenagem está correlacionada negativamente com a taxa de relevo e a relação de erosão. O autor construiu a rede de drenagem a partir das primeiras células feitas por mapa e extraiu a taxa de relevo a partir do modelo digital do terreno.

Rowbotham; Dudycha (1998) usaram o modelo SIG copiando os dados primários tanto de mapas preexistentes como fotografias aéreas, construindo um modelo regional de declividade com estabilidade. Destaca-se a exploração de aproximar o uso comum das células (*grid*) com o significado geomorfológico do terreno. Uma das melhores aplicações da tecnologia SIG nesta pesquisa foi o georeferenciamento de todos os dados usados no terreno. A base de dados por sua vez pode também ser exportada para modelos estatísticos onde foram analisados sob a ótica estatística (lógica de regressão e probabilidade estatística).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a aplicação desta pesquisa, foi escolhida como área de estudo o alto curso da bacia hidrográfica do rio Corumbataí/SP, localizada nos municípios de Analândia, Corumbataí e Rio Claro, onde foi selecionado aleatoriamente um conjunto de 20 sub-bacias amostrais. A toponímia utilizada para cada sub-bacia baseou-se naquela presente na carta topográfica do IBGE e, no caso da inexistência destes na carta, atribuiu-se o nome da fazenda ou propriedade agrária mais significativa inserida no contexto da bacia.

Como produtos de documentação cartográfica foram utilizadas fotografias aéreas da área em estudo nas escalas 1:35.000 e 1:25.000, respectivamente, relativa ao aerolevanteamento de 28 de agosto de 1984 e 19 de outubro de 1972, bem como carta topográfica do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) na escala 1:50.000, referente à folha SF-23-Y-A-I-2, quadrícula Corumbataí, ano 1969.

Com relação aos equipamentos, foram utilizados o sistema de entrada de dados, software AutoCAD R-14, desenvolvido pela Autodesk Incorporation, ano 1997; o sistema de integração de dados, SIG Idrisi 32, desenvolvido pelo Laboratório da Clark

University, ano 1999; o sistema de integração de dados, Statistica for Windows R-6.0, desenvolvido pela StatSoft Incorporation, ano 1996; os aparelhos para medições morfométricas e cartográficas, Curvímetro e Planímetro.

Após consultar os trabalhos de Christofolletti (1981); Horton (1945); Morisawa (1962); Schumm (1956) e Strahler (1964), optou-se pelos seguintes parâmetros morfométricos fluviais a serem trabalhados:

- Lineares: Comprimento do canal principal; Taxa de bifurcação; Extensão do percurso superficial; Gradiente do canal principal; Comprimento médio dos canais de cada ordem; Relação entre os comprimentos médios dos canais;
- Areais: Área da bacia; Densidade de drenagem; Comprimento da bacia; Índice de circularidade; Forma da bacia; Coeficiente de manutenção; Relação comprimento do rio principal e área da bacia; Densidade de segmentos da bacia; Frequência de canais de 1ª ordem; Amplitude altimétrica; Índice de rugosidade; Relação de relevo.

Definidos os parâmetros morfométricos, dirigiu-se à fase de digitalização das 20 sub-bacias, através do software AutoCAD R-14. Iniciou-se com a digitalização das curvas de nível em escala de 1:50.000, com cotas altimétricas com equidistâncias de 20 metros e inseridas em *layers* para cada uma destas cotas. Num segundo momento da digitalização, foram delimitados os divisores das bacias hidrográficas e suas respectivas redes de drenagem hierarquizadas segundo o método de Strahler (1964).

Concluída a fase de digitalização, as sub-bacias foram preparadas em planos de informação distintos contendo informações da topografia, da rede de drenagem e do divisor de cada sub-bacia, para então exportá-las em formato vetorial para o SIG Idrisi 32, onde elas foram convertidas para o formato matricial e definido uma resolução de 5 metros. A partir desse ponto, foi implementada a metodologia para o cálculo dos parâmetros morfométricos fluviais através da forma digital e, paralelamente a essa fase, foi realizado o cálculo dos valores dos parâmetros morfométricos fluviais através do método analógico, com o intermédio do uso de aparelhos como o curvímetro e o planímetro, de acordo com as relações algébricas mostradas na Figura 1.

Os valores obtidos por intermédio destes dois métodos foram testados e comparados estatisticamente através do uso de técnicas de análise de regressão linear e realizado o estudo da correlação existente entre os referidos parâmetros morfométricos, pois, conforme afirma Silva (1978), que as análises de correlação e regressão simples são técnicas importantes para a interpretação dos dados e fenômenos geográficos, e, além disto, o conhecimento destas análises é fundamental para o emprego de outras técnicas dentro da estatística, como a comparação de conjunto de dados de forma descritiva ou explicativa.

Procedimento metodológico para a operação de análise espacial no SIG

Para se definir os parâmetros morfométricos lineares e areais, em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica, é necessário à operação de alguns comandos do Idrisi 32 demonstrados nas figuras 2, 3, 4, 5 e 6.

Figura 1 - Síntese das Relações Algébricas que determinam os Parâmetros Morfométricos

TIPO DE ANÁLISE	PARÂMETRO MORFOMÉTRICO	SÍMBOLO	RELAÇÃO ALGÉBRICA	UNIDADE
LINEAR	Comprimento do canal principal	L	L	km
	Taxa de bifurcação	Rb	$Rb = Nu/Nu + 1$	adimensional
	Extensão do percurso superficial	Eps	$Eps = 1/2 \times Dd$	km
	Gradiente do canal principal	G	$G = \Delta h/L \times 100$	%
	Comprimento médio canais de cada ordem	Lm	$Lm = Lu/Nu$	km
	Relação comprimento médio dos canais	RLm	$RLm = Lmu/Lmu - 1$	km
AREAL	Área da bacia	Ab	Ab	km ²
	Densidade drenagem	Dd	$Dd = Lt/Ab$	km/km ²
	Comprimento da bacia	Lb	Lb	km
	Índice de circularidade	Ic	$Ic = Ab/Ac$	adimensional
	Índice de forma	K	$K = Pb/2\sqrt{\pi Ab}$	adimensional
	Coefficiente de manutenção	Cm	$Cm = 1/Dd \times 1000$	km
	Relação comprimento do rio principal e área da bacia	RL	$RL = 1,5 Ab^{0,6}$	km/km ²
	Densidade de segmentos da bacia	Fsb	$Fsb = \sum ni/Ab$	adimensional
	Frequência de canais de 1ª ordem	F1	$F1 = 1^a \text{ ordem}/Ab$	adimensional
	Amplitude altimétrica	Δh	$\Delta h = Hmax. - Hmin.$	m
	Índice de rugosidade	Ir	$Ir = \Delta h \times Dd$	adimensional
Relação de relevo	Rr	$Rr = \Delta h \text{ Max.}/Lb$	m/km	

Figura 2 - Comandos do SIG para obtenção dos Parâmetros Morfométricos: Comprimento do Canal Principal e Comprimento da Bacia

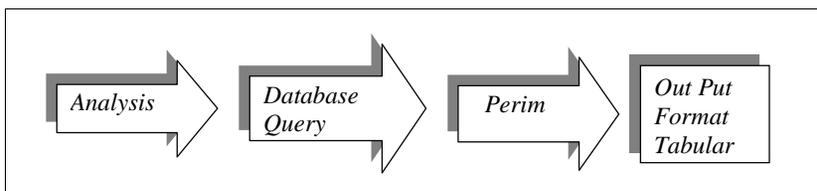


Figura 3 - Comandos do SIG para obtenção dos Parâmetros Morfométricos: Relação de Bifurcação, Extensão do Percurso Superficial, Gradiente do Canal Principal, Comprimento Médio dos Canais por Ordem, Relação entre o Comprimento Médio dos Canais, Densidade de Drenagem, Índice de Circularidade, Forma da Bacia, Coeficiente de Manutenção, Densidade de Segmentos da Bacia, Freqüência de Canais de 1ª Ordem, Índice de Rugosidade, Relação de Relevô

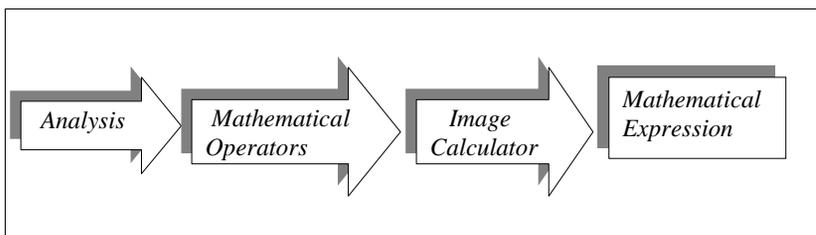


Figura 4 - Comandos do SIG para obtenção do Parâmetro Morfométrico: Área da Bacia

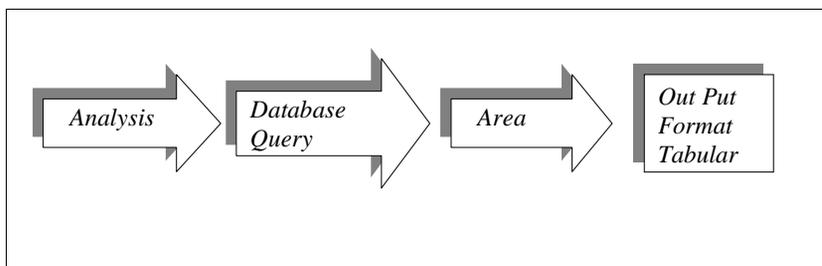


Figura 5 - Comandos do SIG para obtenção do Parâmetro Morfométrico: Relação Comprimento do Rio Principal pela Área da Bacia

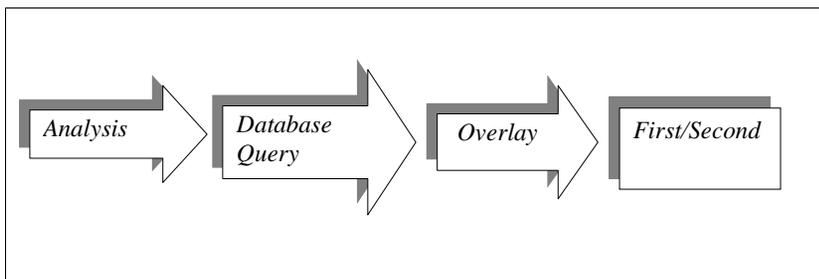
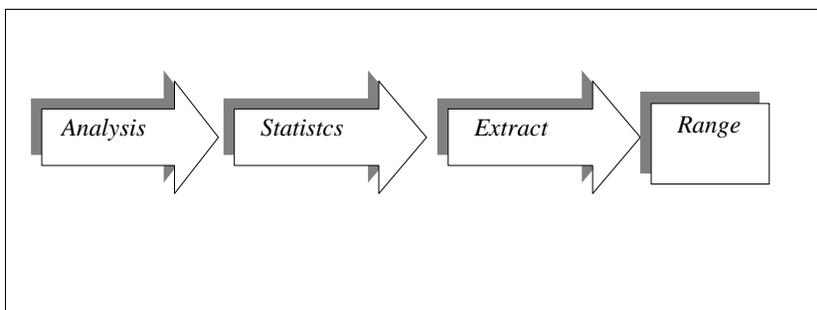


Figura 6 - Comandos do SIG para obtenção do Parâmetro Morfométrico: Amplitude Altimétrica



É importante ressaltar que o procedimento adotado no SIG para o cálculo de comprimento linear (retas ou curvas) existentes nos parâmetros morfométricos comprimento do canal principal, comprimento médio dos canais de cada ordem e comprimento da bacia, se realizou da seguinte maneira: após se ter gerado o mapa matricial da sub-bacia para um dos parâmetros e acessar o módulo *analysis*, o sub-módulo *database query*, a função *perim* e a sub-função *out put format tabular*, foi utilizado como referência de unidade, a quantidade de células (*pixels*) existentes ao longo da linha traçada. O passo seguinte constou de encontrar essa quantidade de células na tabela fornecida pelo SIG, realizando a leitura direta dos valores referentes à quantidade de lados (*sides*) e depois aplicada a seguinte equação matemática:

$$Npx = \left(\frac{S}{2} \right) - 2 \quad \text{Onde: } Npx = \text{Número de pixel.} \\ S = \text{Quantidade de lados (sides).}$$

Desta maneira, a fórmula gera um resultado que representa a quantidade de lados de uma linha no mapa matricial, atentando para o detalhe da divisão por dois (para evitar a duplicidade dos lados), diminuindo ainda, os dois lados das células colocadas nas extremidades da linha. O resultado encontrado, a partir da fórmula

anterior, deve ser multiplicado pelo valor correspondente ao da resolução quando da *rasterização* do mapa, que, no caso específico deste trabalho o índice multiplicador equivale a 5.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise dos Valores dos Parâmetros Morfométricos Obtidos pelos Métodos Analógico e Digital

Para se analisar os valores dos parâmetros morfométricos obtidos das 20 sub-bacias tanto os oriundos pelo método analógico como os do método digital, se faz necessário uma avaliação mais detalhada de mais alguns aspectos, além da correlação existente entre os dois métodos. Questões como o tempo de execução para obtenção dos valores, facilidade de atualização dos dados, acesso e disponibilidade dos dados, além da qualidade gráfica apresentada, todos gerados pelo método digital, são discutidas e analisadas para uma melhor compreensão do referido trabalho.

O índice morfométrico comprimento do canal principal, mostrado na Tabela 1, identificou valor igual a 0.983, onde apesar do ótimo nível de correlação notou-se uma discrepância na sub-bacia 19 (Descaroçador) com 3.04 km de diferença entre os métodos aplicados. O cálculo pelos dois métodos foi repetido diversas vezes e os valores permaneceram inalterados, isso sugere que ocorreram erros de digitalização por ocasião da entrada do dado específico do canal principal na sub-bacia 19, visto que as demais sub-bacias não mostram diferenças tão discrepantes.

Merece relato ainda quanto a este parâmetro, o fato dos valores obtidos pelo método digital serem sempre maiores que os valores obtidos pelo método analógico. A justificativa para tal tendência se deve aos detalhes das linhas meândricas do canal serem preservadas neste método, pois se pode ampliar a visualização do curso do rio através do recurso do *zoom*, no momento da digitalização dos dados, enquanto no método analógico o uso do curvímetro é feito sobre a linha do canal na escala original da carta, o que pode perfeitamente perder em detalhes.

Para a aplicação do método digital da taxa (relação) de bifurcação é necessário que se tenha prontas duas bases cartográficas contendo, na primeira, os canais de determinada ordem e, na segunda, os canais da ordem imediatamente superior. Assim é possível realizar uma operação matemática e chegar a um determinado valor. Este resultado confrontado com o do método analógico é o mesmo, o que leva este parâmetro a uma correlação perfeita, ou seja, $r=1$ (Tabela 1).

Neste índice pode-se verificar a simplicidade do método analógico, pois para a obtenção dos valores, basta a contagem dos referidos canais de determinada ordenação e relacioná-los matematicamente, enquanto o método digital, o qual mostra o mesmo resultado, se faz necessário uma disposição de tempo para a preparação das bases cartográficas.

Mesmo assim, a partir do momento que se confronta os dois métodos, verifica-se a vantagem do método digital quando da necessidade de calcular a relação ou taxa de bifurcação para grandes bacias hidrográficas com centenas de canais a serem adicionados. Neste caso o computador irá realizar seu trabalho sem falhas, enquanto na contagem simples dos canais pode-se com facilidade cometer algum erro ou simplesmente esquecer de contar algum canal.

Tabela 1 - Valores dos Parâmetros Morfométricos Lineares: L (comprimento do canal principal), Rb (relação de bifurcação), Eps (extensão do percurso superficial), G (gradiente do canal principal), Lm1 (comprimento médio canais de 1ª ordem), Lm2 (comprimento médio canais de 2ª ordem), Lm3 (comprimento médio canais de 3ª ordem) e Lm4 (comprimento médio canais de 4ª ordem), das sub-bacias amostrais

Nº	Sub-Bacia	L (km)		Rb (1)		Eps (km)		G (%)		Lm1 (km)		Lm2 (km)		Lm3 (km)		Lm4 (km)	
		A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*
1	Pedra Vermelha	5.70	5.78	2.60	2.60	0.28	0.26	3.50	3.61	0.95	1.15	1.33	1.30	2.90	2.87	*	*
2	Santo Urbano	4.50	4.79	3.20	3.20	0.24	0.22	2.22	2.08	0.54	0.64	0.80	0.81	2.40	2.58	*	*
3	Do Soares	6.05	6.79	5.40	5.40	0.20	0.18	5.95	5.30	0.52	0.63	1.89	2.16	0.67	0.56	2.20	2.22
4	Das Taipas	4.85	5.70	3.00	3.00	0.21	0.22	3.71	3.15	0.78	0.88	1.06	1.11	2.55	3.13	*	*
5	Ragaso	4.80	5.70	4.60	4.60	0.19	0.17	1.66	1.40	0.61	0.67	0.72	0.68	3.65	4.05	*	*
6	Emboabas	5.60	6.80	4.00	4.00	0.23	0.20	2.50	2.20	0.42	0.47	1.11	1.32	2.65	3.02	*	*
7	Monte Alegre	5.15	6.15	6.33	6.33	0.30	0.26	2.71	2.14	0.50	0.62	1.03	0.84	3.15	3.66	*	*
8	Da Barra	9.10	10.66	4.55	4.55	0.38	0.30	2.41	1.99	0.59	0.75	0.79	0.90	5.75	6.84	*	*
9	Do Retiro	8.80	10.56	5.00	5.00	0.43	0.36	1.59	1.32	0.63	0.81	0.95	0.96	7.25	8.40	*	*
10	Da Ponte Funda	6.25	7.44	4.75	4.75	0.36	0.32	2.24	1.90	1.02	1.34	2.75	3.24	3.05	3.49	*	*
11	Alto Corumbataí	9.15	11.09	6.20	6.20	0.32	0.26	1.96	1.62	0.70	0.93	1.27	1.36	5.70	7.08	*	*
12	Santa Terezinha	8.05	8.26	4.00	4.00	0.33	0.26	3.97	3.53	0.82	1.03	1.27	1.42	3.40	3.83	1.15	1.02
13	São Francisco	5.20	5.53	3.50	3.50	0.23	0.20	5.76	5.53	0.72	0.80	2.06	2.24	2.90	3.25	*	*
14	Nova América	6.50	7.13	4.66	4.66	0.36	0.31	4.30	4.05	0.76	0.99	2.45	2.81	2.55	2.77	*	*
15	Capim Fino	7.55	9.31	6.33	6.33	0.33	0.28	1.32	1.26	0.73	0.92	1.51	1.57	4.95	6.14	*	*
16	Serrinha de Baixo	6.95	7.26	4.57	4.57	0.22	0.19	1.43	1.23	0.51	0.64	0.92	0.90	4.50	5.04	*	*
17	Santa Julieta	6.25	6.88	5.42	5.42	0.20	0.17	1.60	1.45	0.47	0.59	1.00	1.16	1.50	1.71	2.90	3.11
18	Da Graminha	6.70	8.09	4.00	4.00	0.35	0.29	0.59	0.63	0.87	1.10	1.48	1.61	3.55	4.53	*	*
19	Descaroçador	12.25	15.29	5.50	5.50	0.42	0.35	2.44	1.86	1.00	1.27	1.46	1.59	9.30	11.83	*	*
20	Cuscuzeiro	3.90	4.57	4.00	4.00	0.24	0.30	6.15	4.87	1.62	1.88	3.45	3.37	**	**	*	*

Correlação	0.983	1	0.922	0.986	0.987	0.984	0.996	0.99								
Desvio Padrão	2.013	2.606	1.077	1.077	0.077	0.059	1.615	1.455	0.273	0.331	0.722	0.799	2.051	2.632	0.88	1.049
Erro Médio	0.382	0	0.031	0.274	0.046	0.132	0.196	0.03								

(1) Adimensional.

(A*) Método analógico de obtenção dos valores.

(D*) Método digital de obtenção dos valores.

(*) Bacia inferior a 4ª ordem.

(**) Bacia inferior a 3ª ordem.

O parâmetro morfométrico, extensão do percurso superficial tem seu valor relacionado com a declividade das vertentes e com o comportamento hidrológico das rochas, num mesmo ambiente climático. A Tabela 1 revela que os valores obtidos por intermédio dos métodos analógico e digital ocasionam nível de correlação igual a 0.922, e se percebe que os valores obtidos pelo método digital são sempre menores

em relação aos valores obtidos pelo método analógico, com exceção da sub-bacia nº 20 (Cuscuzeiro). Usando raciocínio semelhante à justificativa do comprimento do canal principal em relação aos detalhes percorrido junto à linha do canal, pode-se comprovar esses valores menores oriundos do método digital, uma vez que, a extensão do percurso superficial é inversamente proporcional à densidade de drenagem, e como a densidade de drenagem refere-se ao total do comprimento dos canais relacionado pela área da bacia, temos então, um maior volume de detalhes evidenciados por este método.

A relação entre o comprimento médio dos canais é similar ao contexto da relação ou taxa de bifurcação, uma vez que relaciona o comprimento médio de determinada ordem para com os de ordem imediatamente superior, isto é, o comprimento médio dos canais pode ser usado para ser determinado em cada uma de suas ordens. A combinação, então, do comprimento de todos os canais de uma determinada ordem é equivalente a soma dos comprimentos de cada ordenação.

Tendo em vista a proximidade dos valores obtidos, por intermédio dos dois métodos, para este parâmetro, pode-se confirmar, quanto ao aspecto agilidade para obtenção dos dados, a superioridade do método digital em relação ao método analógico, tendo em vista que, a referida obtenção dos valores, é realizada diretamente em ambiente SIG, onde a base cartográfica se apresenta constituída, desde a sua digitalização, para a efetivação do cálculo. Além disso, deve-se ressaltar também o menor tempo para execução do cálculo dos dados pelo método digital, enquanto o método analógico fica na eminência do uso correto e contínuo do curvímetro, demandando um tempo maior para se determinar os seus valores.

A área drenada por uma bacia hidrográfica forma um sistema fluvial e se torna um referencial de dados fundamental para o cálculo de outras características da mesma ou de outros parâmetros morfométricos. Os valores obtidos das áreas das sub-bacias geraram um nível de correlação 0.994, desvio padrão dos dados analógicos 8.601, desvio padrão dos dados digitais 8.645 e erro médio 0.924 (Tabela 2).

Quanto à comparação da obtenção dos dados de densidade de drenagem através dos dois métodos, observa-se na Tabela 2, nível de correlação 0.930. A relação da densidade de drenagem pode ser entendida como um importante indicador do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. O seu cálculo é importante, pois além de representar relação inversa com a extensão do percurso superficial, também o faz com o coeficiente de manutenção. Portanto, fornece uma indicação de eficiência da drenagem na área da bacia fluvial.

Como comprovação desta relação inversa dos parâmetros morfométricos mencionados, basta verificar na Tabela 2 os valores da densidade de drenagem, e comparar com os valores das Tabelas 1 e 3, onde estão respectivamente os dados da extensão do percurso superficial e do coeficiente de manutenção.

A Figura 7 demonstra a relação dos parâmetros morfométricos mencionados, para todas as sub-bacias, pois, à proporção que se aumentam os valores da densidade de drenagem, diminuem os valores tanto da extensão do percurso superficial como do coeficiente de manutenção, e vice-versa.

Percebe-se no momento da obtenção dos dados do parâmetro morfométrico comprimento da bacia, que os valores quando realizados pelo método digital têm uma pequena e constante diferença para maior em relação aos valores obtidos pelo método analógico, com exceção da sub-bacia nº 3 (Do Soares), que tem valores rigorosamente iguais. Mesmo com a constante diferença dos valores digitais para maior, a correlação encontrada é 0.9937, conforme mostra a Tabela 2. Observa-se ainda, que o ponto topográfico que serviu como referência para se traçar uma reta dele até a foz e o consequente cálculo do parâmetro, pode ter sido o causador dos valores maiores em favor do método digital.

Tabela 2 - Valores dos Parâmetros Morfométricos Areaais: Ab (área da bacia), Dd (densidade de drenagem), Lb (comprimento da bacia), RL (relação comprimento rio e área da bacia), Ic (índice de circularidade) e K (índice de forma da bacia), das sub-bacias amostrais

Nº	Sub-Bacia	Ab km ²		Dd km/km ²		Lb km		RL km/km ²		Ic (1)		K (1)	
		A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*
1	Pedra Vermelha	12.68	12.95	1.73	1.88	4.90	5.87	1.20	1.20	0.356	0.271	1.185	1.358
2	Santo Urbano	7.37	7.52	2.04	2.25	3.65	3.93	1.10	1.04	0.365	0.306	1.169	1.279
3	Do Soares	11.13	11.31	2.45	2.76	5.30	5.30	1.05	0.94	0.356	0.243	1.184	1.434
4	Das Taipas	7.06	8.16	2.29	2.23	4.45	5.41	0.99	0.92	0.315	0.255	1.259	1.400
5	Ragaso	8.28	8.01	2.57	2.87	4.80	5.75	1.10	0.91	0.386	0.234	1.138	1.459
6	Emboabas	6.40	6.45	2.17	2.47	5.85	6.78	0.81	0.67	0.267	0.190	1.367	1.618
7	Monte Alegre	9.70	9.34	1.63	1.92	5.60	6.61	1.13	0.93	0.349	0.247	1.196	1.421
8	Da Barra	28.77	28.11	1.29	1.63	11.75	13.41	1.23	1.04	0.275	0.178	1.347	1.675
9	Do Retiro	31.38	31.88	1.14	1.37	11.10	12.98	1.34	1.13	0.317	0.212	1.254	1.534
10	Da Ponte Funda	24.18	26.80	1.38	1.56	7.65	8.42	1.62	1.44	0.323	0.245	1.242	1.429
11	Alto Corumbataí	21.69	22.60	1.56	1.89	10.80	12.43	1.03	0.87	0.247	0.163	1.421	1.750
12	Santa Terezinha	26.50	24.82	1.50	1.92	5.65	6.35	1.33	1.24	0.261	0.192	1.384	1.612
13	São Francisco	9.85	9.79	2.16	2.39	4.80	5.71	1.13	1.06	0.357	0.265	1.182	1.372
14	Nova América	15.02	15.59	1.37	1.61	5.60	6.42	1.17	1.09	0.344	0.241	1.205	1.438
15	Capim Fino	15.53	16.34	1.51	1.73	7.10	8.39	1.02	0.86	0.292	0.203	1.307	1.566
16	Serrinha de Baixo	12.47	12.53	2.19	2.56	7.05	8.20	0.97	0.93	0.334	0.228	1.223	1.479
17	Santa Julieta	12.71	13.28	2.43	2.80	5.55	5.73	1.10	1.02	0.274	0.176	1.349	1.682
18	Da Graminha	16.93	17.02	1.39	1.68	7.25	8.54	1.22	1.01	0.273	0.172	1.351	1.703
19	Descaroçador	31.23	32.50	1.19	1.42	11.15	12.25	0.96	0.79	0.239	0.153	1.444	1.807
20	Cuscuzeiro	4.92	6.63	2.02	1.64	3.95	4.25	1.00	1.01	0.291	0.250	1.310	1.413
Correlação		0.994		0.930		0.9937		0.9172		0.849		0.885	
Desvio Padrão		8.601	8.645	0.461	0.4768	2.5431	2.9293	0.1736	0.1687	0.043	0.041	0.091	0.146
Erro Médio		0.924		0.173		0.292		0.0711		0.023		0.043	

(1) Adimensional.

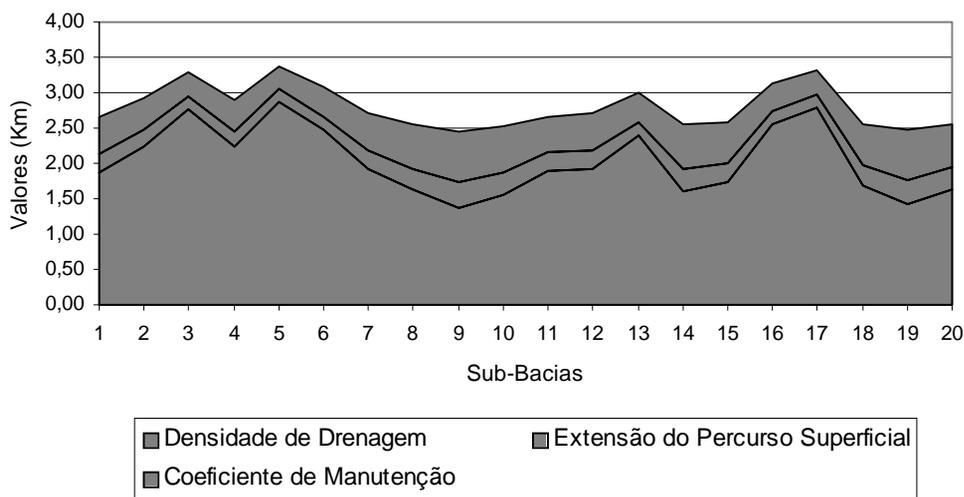
(A*) Método analógico de obtenção dos valores.

(D*) Método digital de obtenção dos valores.

Os dados do índice de circularidade apresentam-se com valores abaixo de 1, conforme registra os dados da Tabela 2. Por sua vez, a mesma tabela mostra que o índice de forma traduz valores maiores que 1, tanto os obtidos pelo método digital como os obtidos pelo método analógico. Esta tendência do índice de circularidade possuir valores menores que 1 e, o índice de forma possuir valores maiores que 1, implica que as sub-bacias não são circulares. Estes valores resultam e representam um escoamento moderado, o qual não contribuem para a concentração de águas que possibilitem cheias, mas sim, desempenham papel importante no transporte de material detrítico.

É importante observar que os índices de correlação são os menores entre os parâmetros analisados, 0.849 para o índice de circularidade e, 0.885 para o índice de forma, onde se percebe a subjetividade de análise quando se trata destes índices morfométricos.

Figura 7 - Gráfico comparativo entre os Parâmetros Morfométricos: Densidade de Drenagem, Extensão do Percurso Superficial e Coeficiente de Manutenção



Quanto ao parâmetro morfométrico densidade de segmentos da bacia, observa-se na Tabela 3 seu nível de correlação 0.9937, confirmando a similaridade deste índice morfométrico quando da obtenção dos dados através dos dois métodos. Neste caso, novamente se verifica a maior eficácia em favor do método digital, pois após a preparação da base cartográfica com sua respectiva rede de drenagem, e consequente relação dos canais com a área da bacia, têm-se o resultado de uma forma precisa, enquanto no método analógico, semelhante à taxa de bifurcação, se faz necessário à realização da somatória visual de todos os canais da bacia, o que pode ocorrer o esquecimento ou erro da contagem de algum canal.

Por sua vez, o levantamento dos dados do parâmetro morfométrico frequência de canais de 1ª ordem, através dos dois métodos, percebe-se alto valor de correlação (0.9942), da mesma forma que os dados do parâmetro morfométrico coeficiente de manutenção, que definiu valores bem próximos, pois originou índice de correlação 0.9284 (Tabela 3). Neste caso, a agilidade para execução do cálculo se torna bastante favorável para ambos os métodos, visto que, de posse dos dados da densidade de drenagem rapidamente encontra-se os valores do coeficiente de manutenção, entretanto, quando se refere à atualização dos dados, o método digital se mostra com maior eficácia, pois já possui um banco de dados preparado para gerar mapas e com possibilidade de alterar qualquer informação de natureza quantitativa.

Ainda com base na Tabela 3, os índices do parâmetro morfométrico amplitude altimétrica, com nível de correlação 0.995, desvio padrão dos dados analógicos 98.64, desvio padrão dos dados digitais 97.5 e erro médio 9.857, são evidenciados a partir de diferenças de cotas altimétricas. Essas diferenças são representativas da movimentação topográfica local e indica o grau de condicionamento para o referido uso da terra.

Por se tratar de um parâmetro morfométrico que utiliza dados lidos em unidade métrica, a amplitude altimétrica recebeu valores ligeiramente acima da média dos que se tem trabalhado até então, fugindo assim, da "normalidade" das médias atribuídas e recebidas pelos demais parâmetros morfométricos fluviais.

Tabela 3 - Valores dos Parâmetros Morfométricos Areais: Fsb (densidade de segmentos da bacia), F1 (frequência de canais de 1ª ordem), Cm (coeficiente de manutenção), dh (amplitude altimétrica), Ir (índice de rugosidade) e Rr (relação de relevo), das sub-bacias amostrais

Nº	Sub-Bacia	Fsb (1)		F1 (1)		Cm (m)		dh (m)		Ir (1)		Rr m/km	
		A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*	A*	D*
1	Pedra Vermelha	1.49	1.46	1.02	1.00	0.57	0.53	340	373	588.2	701.2	0.069	0.063
2	Santo Urbano	2.98	2.92	2.17	2.12	0.49	0.44	120	145	244.8	326.2	0.032	0.036
3	Do Soares	3.14	3.09	2.42	2.38	0.40	0.36	420	420	1029.0	1159.2	0.079	0.079
4	Das Taipas	2.40	2.08	1.69	1.47	0.43	0.44	340	340	778.6	758.2	0.076	0.062
5	Raças	3.50	3.62	2.77	2.87	0.38	0.34	240	240	616.8	688.8	0.050	0.041
6	Emboabas	3.28	3.25	2.50	2.48	0.46	0.40	220	220	477.4	543.4	0.037	0.032
7	Monte Alegre	2.37	2.46	1.95	2.03	0.61	0.52	220	228	358.6	437.7	0.039	0.034
8	Da Barra	1.77	1.81	1.42	1.45	0.77	0.61	280	280	361.2	456.4	0.023	0.020
9	Do Retiro	1.37	1.34	1.11	1.09	0.87	0.72	220	220	250.8	301.4	0.019	0.016
10	Da Ponte Funda	0.99	0.89	0.78	0.70	0.72	0.64	400	400	552.0	624.0	0.052	0.047
11	Alto Corumbataí	1.70	1.63	1.42	1.37	0.64	0.52	180	180	280.8	340.2	0.016	0.014
12	Santa Terezinha	1.43	1.53	1.05	1.12	0.66	0.52	340	340	510.0	652.8	0.060	0.053
13	São Francisco	1.92	1.94	1.42	1.43	0.46	0.41	380	380	820.8	908.2	0.079	0.066
14	Nova América	1.19	1.15	0.93	0.89	0.72	0.62	320	338	438.4	544.1	0.057	0.052
15	Capim Fino	1.48	1.40	1.22	1.16	0.66	0.57	140	140	211.4	242.2	0.019	0.016
16	Serrinha de Baixo	3.20	3.19	2.56	2.55	0.45	0.39	120	132	262.8	337.9	0.017	0.016
17	Santa Julieta	3.77	3.61	2.98	2.86	0.41	0.35	160	162	388.8	453.6	0.028	0.028
18	Da Graminha	1.24	1.23	0.94	0.94	0.71	0.59	100	112	139.0	188.1	0.013	0.013
19	Descaroador	0.86	0.83	0.70	0.67	0.84	0.70	300	305	357.0	433.1	0.026	0.024
20	Cuscuzeiro	1.01	0.75	0.81	0.60	0.49	0.60	240	240	484.8	393.6	0.060	0.056
Correlação		0.9937		0.9942		0.9284		0.995		0.9773		0.986	
Desvio Padrão		0.9429	0.957	0.7343	0.75	0.1532	0.117	98.64	97.5	225.99	238.79	0.022	0.020
Erro Médio		0.109		0.0813		0.0585		9.857		49.232		0.003	

(1) Adimensional.

(A*) Método analógico de obtenção dos valores.

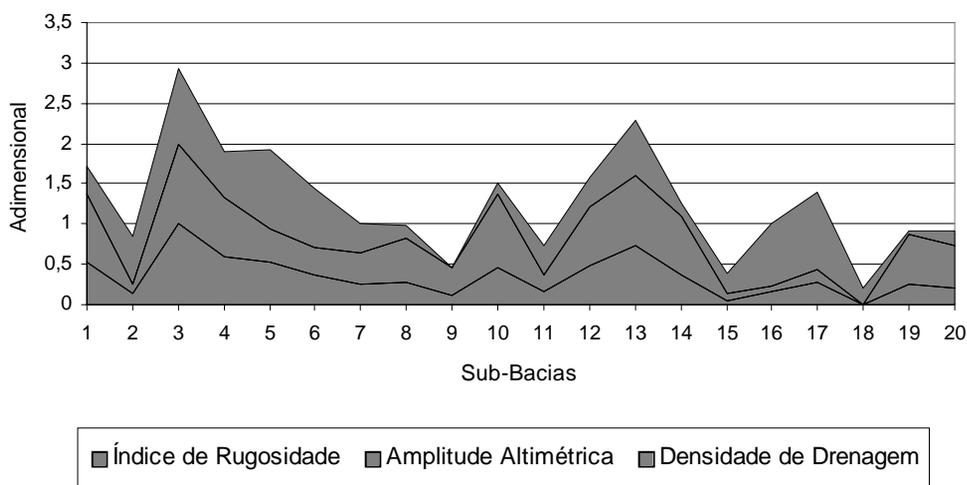
(D*) Método digital de obtenção dos valores.

O parâmetro morfométrico, índice de rugosidade, bem como os elementos que o compõem, como a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica, surgem com a finalidade de inferir os atributos das vertentes. É necessário ressaltar que, pelos procedimentos adotados, a interpretação dos atributos das vertentes é apenas de caráter relativo e genérico. É relativo porque se refere ao conjunto representado pelas sub-bacias analisadas e, é genérico porque os comprimentos e declividades variam dentro de uma mesma sub-bacia, principalmente em função da amplitude altimétrica, pois as altitudes dos interflúvios não são constantes.

Este parâmetro morfométrico apresenta valores do desvio padrão dos dados analógicos 225.99, desvio padrão dos dados digitais 238.79, e erro médio 49.232, e detém nível de correlação 0.9773. Seus valores são adimensionais, indicando assim um posicionamento em determinada escala, entretanto, não tem nenhuma conotação

no sentido de distância linear ou mesmo de comprimento. Os maiores valores do índice de rugosidade ocorrem quando as vertentes das bacias hidrográficas são íngremes e longas e com elevados valores da densidade de drenagem, por sua vez, os índices mais baixos ocorrem quando as vertentes são suaves e longas e com baixos índices da densidade de drenagem. Estes valores podem ser observados na Tabela 3, e exemplificados respectivamente pelas sub-bacias hidrográficas nº 3 (Do Soares) e nº 18 (Da Graminha), como também, na totalidade das sub-bacias onde elas assumem esse comportamento, demonstrado no gráfico da Figura 8.

Figura 8 - Gráfico comparativo entre os Parâmetros Morfométricos: Índice de Rugosidade, Amplitude Altimétrica e Densidade de Drenagem



A Tabela 4 mostra um resumo dos valores de correlação, do desvio padrão dos dados analógicos e digitais, e do erro médio de todos os parâmetros morfométricos trabalhados respectivamente com seu número de amostras. Ela indica também, que com exceção do parâmetro relação de bifurcação (100% de correlação), todos os demais parâmetros morfométricos fluviais calculados através dos métodos analógico e digital apresentam alto índice de correlação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de técnicas de geoprocessamento é visto de grande importância para o estudo da morfometria fluvial, pois tais estudos quantitativos fornecem situações concretas de interpretação. É importante também, dar precisão à descrição das redes hidrográficas a fim de que possam ser feitas comparações entre uma rede e outra, e também, de que as variações entre redes possam ser correlacionadas com outras variáveis geográficas.

Tabela 4 - Valores de Correlação, Desvio Padrão e Erro Médio entre Medidas Analógicas e Digitais dos Parâmetros Morfométricos

Parâmetros Morfométricos	Nº de Amostras	Correlação	Desvio Padrão		Erro Médio
			Analogico	Digital	
Comprimento Canal Principal	20	0.983	2.013	2.606	0.382
Relação de Bifurcação	20	1	1.077	1.077	0
Extensão Percurso Superficial	20	0.922	0.077	0.059	0.031
Gradiente do Canal Principal	20	0.986	1.615	1.455	0.274
Comprimento Médio Canais 1ª Ordem	20	0.987	0.273	0.331	0.046
Comprimento Médio Canais 2ª Ordem	20	0.984	0.722	0.799	0.132
Comprimento Médio Canais 3ª Ordem	19	0.996	2.051	2.632	0.196
Comprimento Médio Canais 4ª Ordem	3	0.99	0.88	1.049	0.03
Relação Comprimento Canais 2/1 Ordem	20	0.9703	0.6844	0.708	0.17
Relação Comprimento Canais 3/2 Ordem	19	0.9912	2.117	2.466	0.287
Relação Comprimento Canais 4/3 Ordem	3	0.989	1.4767	1.858	0.296
Área da Bacia	20	0.994	8.601	8.645	0.924
Densidade de Drenagem	20	0.930	0.461	0.4768	0.173
Comprimento da Bacia	20	0.9937	2.5431	2.9293	0.292
Índice de Circularidade	20	0.849	0.043	0.041	0.023
Índice de Forma	20	0.885	0.091	0.146	0.043
Coefficiente de Manutenção	20	0.9284	0.153	0.117	0.0585
Relação Compr. Rio Principal e Área da Bacia	20	0.9172	0.1736	0.1687	0.0711
Densidade de Segmentos da Bacia	20	0.9937	0.9429	0.957	0.109
Frequência Canais 1a Ordem	20	0.9942	0.7343	0.75	0.081
Amplitude Altimétrica	20	0.995	98.64	97.5	9.857
Índice de Rugosidade	20	0.9773	225.99	238.79	49.232
Relação de Relevô	20	0.986	0.022	0.02	0.003

Pelos resultados da aplicação de técnicas estatísticas a que os parâmetros morfométricos foram submetidos, se conclui que o método digital pode substituir o método analógico na aplicação de estudos quantitativos de bacias hidrográficas, pois, as várias opções do mundo computacional nos dias atuais levam o método digital a superar os vários métodos analógicos usados até então pelos geógrafos e geomorfólogos. O que se observa como tendência geral para um futuro bem próximo é a possibilidade de acesso, por parte de qualquer usuário, à base de dados, independente de seu tamanho, na qual poderá selecionar a informação que deseja extrair e que responda seus objetivos.

Como vantagens do método digital, destaca-se a redução da subjetividade inserida em operações de cruzamento manual de informações quando da realização dos cálculos, a rapidez nas operações de sobreposição de mapas e de cálculo de áreas, a possibilidade de obtenção de mapas temáticos a partir das variáveis disponíveis, além da facilidade de atualização dos dados a partir da introdução de novos dados na base cartográfica arquivada em forma digital.

Com o aumento constante da capacidade de processamento dos hardwares e o surgimento de novos softwares, aliados a novas maneiras de se coletar os dados, ocasionam boas perspectivas para a ciência geográfica a partir do uso de geoprocessamento, entretanto, a questão que se coloca é quanto à alimentação dos dados deste geoprocessamento que necessariamente precisa de dados digitais, o que ainda são em número reduzido.

O maior problema enfrentado pelo método analógico é o fator tempo de execução, pois normalmente este método, demanda um tempo considerável para serem executados os seus produtos finais ou até mesmo intermediários.

As técnicas quantitativas, fundamentadas em estudos matemáticos e estatísticos, favorecem ao mapeamento da área, pois fornecem resultados científicos que possibilitam a uma visão espacial da análise morfométrica. Índices e métodos quantitativos podem ser criados, mesmo da adaptação de outros, para então, serem aplicados em determinada questão.

Os dados geográficos nem sempre têm uma distribuição de frequência normal que permite a aplicabilidade imediata da classificação baseada em conceitos de medidas de tendência central ou dispersão. Neste trabalho, como na geografia física, a distribuição simétrica dos dados é relativamente freqüente e encontra-se a assimetria positiva dos dados para todos os parâmetros morfométricos trabalhados.

Com o uso do coeficiente de correlação foi possível determinar a forma da relação entre os dois conjuntos de dados (Analógico e Digital), e verificar que a variação num conjunto provoca a variação no outro conjunto e qual o seu grau de direção dessa variação. Em todos os casos estudados obteve-se direção positiva.

Espera-se com este trabalho deixar contribuições concretas para estudos que visem a morfometria fluvial com o uso de técnicas de geoprocessamento e, que se possa enriquecer o debate científico para a análise de bacias hidrográficas como um todo.

REFERÊNCIAS

- CASTRO, J. F. M. Análise comparativa entre informações morfométricas obtidas por métodos convencionais e por métodos digitais. **Geografia**. Rio Claro, v.20 n. 2, p.115-133, 1995.
- CHRISTOFOLETTI A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo. Editora Edgard Blucher, 1981. 313p.
- _____. Contribuições a geomorfologia fluvial. **Boletim de Geografia Teórica**. Rio Claro, v.15, n. 29-30, p.441-48, 1985.
- FERREIRA, M. C. Regionalização de pequenas bacias hidrográficas a partir de imagens orbitais e sistemas de informação geográfica. **Geociências**. São Paulo, v.15, n. 1, p.163-84, 1996.
- _____. Análise espacial da densidade de drenagem em sistema de informação geográfica através de um modelo digital de distâncias interfluviais. **Geociências**. São Paulo, v.18, n. 1, p.7-22, 1999.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and the drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, v.56, n. 3, p.275-370, 1945.
- JENSON, S. K. Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models. In: BEVEN, K. J.; MOORE, I. D. **Advances in hydrological processes. Terrain analysis and distributed modeling in hydrology**. Chichester, John Wiley & Sons, 1992.
- MORISAWA, M. E. Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian plateau. **Geological Society of American Bulletin**, v.73, n. 9, p.1025-1046, 1962.

OGUCHI, T. Drainage density and relative relief in humid steep mountains with frequent slope failure. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.22, p.107-120, 1997.

ROWBOTHAM, D. N.; DUDYCHA, D. GIS modeling of slope stability in Phewa Tal watershed, Nepal. **Geomorphology**, v.26, p.151-170, 1998.

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

_____. Applied fluvial geomorphology. In: HAILS, J. R. **Applied Geomorphology**. Amsterdam, Elsevier, p.119-55, 1977.

SILVA, B. C. N. Métodos quantitativos aplicados em geografia: uma introdução. **Geografia**. Rio Claro, v. 3, n. 6, p. 33-73, 1978.

STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Geological Society of American Bulletin**, v.63, 1952.

_____. Quantitative geomorphology drainage basin and channel networks. In: CHOW, V. T. **Handbook of Applied Hydrology**. New York, McGraw-Hill, 1964.

Recebido em julho de 2002
Aceito em novembro de 2002