

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DO ALTO MACACÚ  
UMA ABORDAGEM QUANTITATIVA

Mauro Sergio Fernandes Argento

ABSTRACT

This paper correlates the main components of the drainage net with high Macacu basin. The main objective is to show a group of quantitative techniques applied in analysis of drainage nets. Classifications by Sturges Algorithms, Correlations Analysis and Cluster Analysis, were used with the drainage parameters. Similarity matrix were analysed and several conclusions were established to high Macacu (superior part of drainage basin) and for all drainage basin.

INTRODUÇÃO

A bacia de drenagem é uma unidade geomorfológica das mais importantes, pois nela interagem fatores físicos, biológicos, econômicos e sociais. Em termos físicos, vários critérios de estudo tem sido elaborados para caracterizar e hierarquizar bacias de drenagem. O presente trabalho parte de um conceito tradicional, baseado nas condições apresentadas pelo canal principal, condições estas que permitem sua subdivisão em três grandes ambientes geomorfológicos bem distintos: o Alto, o Médio e o Baixo Curso. Em cada uma destas unidades ambientais os processos geradores de sedimentos, as respectivas formas resultantes e a consequente constituição do terreno apresentam características peculiares e, por isso mesmo, se revestem de significativo suporte para uma classificação ambiental.

O desenvolvimento de uma metodologia de análise ambiental quantitativa, certamente, servirá de importante contribuição para estudos comparativos, não apenas entre as diferentes unidades componentes de uma mesma bacia como, principalmente, entre diferentes bacias de drenagem.

Este trabalho apresenta uma metodologia de análise ambiental quantitativa, objetivando, essencialmente, a caracterização da área do Alto Macacú, baseada nos principais parâmetros morfométricos. Constituem objetivos específicos da presente investigação a utilização de técnicas estatísticas paramétricas, e a classificação das diferentes sub-bacias que compõem a área do Alto Curso do rio Macacú. Estudos das correlações existentes entre os principais parâmetros morfométricos também serão realizados.

As hipóteses aventadas são: a] que os índices de forma encontrados para as diferentes sub-bacias servem de importante parâmetro geomorfológico de caracterização ambiental; b] dentro de uma mesma unidade ambiental, o comportamento morfométrico varia entre as sub-bacias de diferentes ordens; c] as associações morfométricas entre sub-bacias de diferentes ordens não apresentam consistência metodológica.

Por fim, as associações entre os parâmetros morfométricos do Alto Curso não diferem, em sentido (correlações direta ou inversa), do comportamento morfométrico geral de toda bacia de drenagem. No entanto, o grau destas associações (alto ou baixo) varia entre o Alto Curso e a bacia de drenagem como um todo. É conveniente, então, ao se analisar uma bacia de drenagem, levar em conta as grandes unidades geomorfológicas nela existentes.

### LIMITES OPERACIONAIS

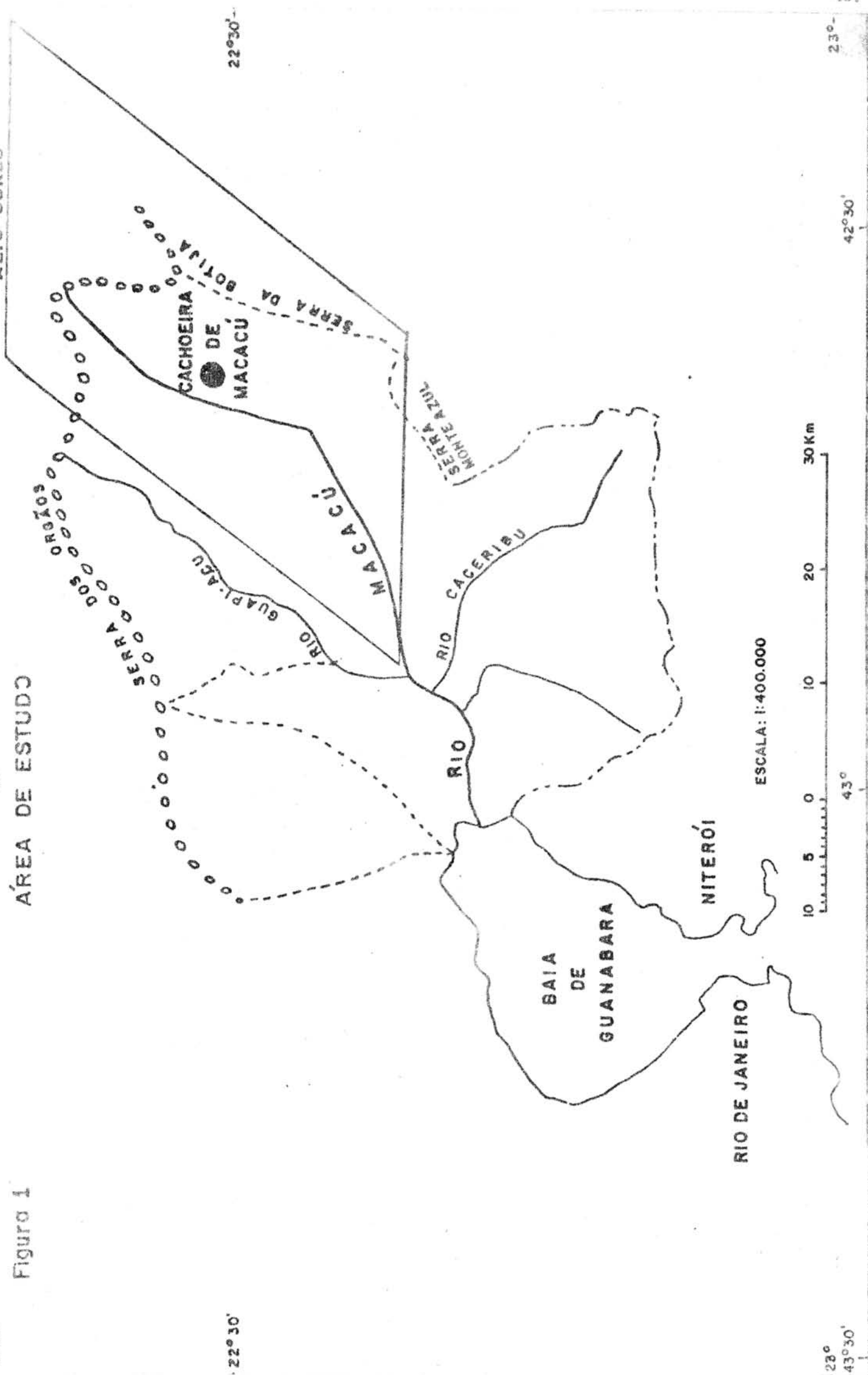
O primeiro passo foi desenvolvido no sentido de delimitar as grandes Unidades Geomorfológicas componentes da Bacia do rio Macacú, como sejam: o Alto, o Médio e o Baixo Macacú. Para tal fim, foram feitos confrontos entre as cartas topográficas do IBGE - na escala de 1:50.000 e realizadas saídas a campo<sup>42</sup>. Este último passo objetivou, essencialmente, a obtenção de um contato direto com as três grandes unidades geo-ambientais já citadas. Foram, então, detectadas as características físicas principais da área, em estudo, em sua porção mais elevada, como também foram coligidas informações sobre a área classificada nas cartas como a do Médio Macacú, onde predominava a presença de colinas e sobre a área do Baixo Macacú com a presença de várzeas e a predominância de sedimentos deposicionais de origem fluvial e marinha.

A área da bacia do rio Macacú se estende de  $22^{\circ}21'$  a  $23^{\circ}$  de latitude sul e de  $42^{\circ}33'$  a  $43^{\circ}$  de longitude oeste, no Estado do Rio de Janeiro. O rio Macacú possui suas nascentes na borda atlântica da Serra do Mar, mais propriamente na Serra dos Órgãos. Seu perfil longitudinal, na direção Nordeste-Sudoeste, reflete a orientação geral da estrutura geológica do território brasileiro. Seu curso atravessa a baixa da fluminense, atingindo a baía de Guanabara numa posição de fundo de baía (vide Localização - Figura 1).

A unidade geomorfológica, que compreende o que chamamos de Alto Macacú, apresenta um limite operacional se estendendo desde  $22^{\circ}21'$  a  $22^{\circ}30'$  de latitude sul, com limites em longitude de  $42^{\circ}33'$  a  $42^{\circ}42'$  de longitude oeste. Nesta área ocorre maior presença de afloramentos cristalinos com mantos intemperizados, pouco espessos, decorrentes de processos de decomposição química ligados ao grau de umidade aí reinante. O intemperismo físico também se faz presente pela ação marcante da amplitude térmica e do encunhamento das raízes alargando fraturas naturais da rocha.

Figuro 1

ÁREA DE ESTUDO



As encostas do alto vale do rio Macacú atestam, pelas numerosas cicatrizes aí deixadas, a frequência dos movimentos de massa. É importante notar que, embora o processo de movimento de massa seja característico de regiões de clima semi-árido, nesta área de clima tropical úmido, devido à intensidade de chuvas concentradas em determinadas épocas do ano e a relação entre "empapamento do solo/resistência da encosta", também grandes movimentos de massa se realizam. Tais movimentos são mais frequentes em locais onde a interferência do homem se faz mais presente. A área sofre, então, o grande efeito de um processo de transporte de sedimentos da parte alta da encosta à calha do rio. A paisagem é marcada pela presença de feições geomorfológicas tais como: declives abruptos com ângulos fortes, grande número de ravinamentos e voçorocas com sua característica em forma côncava, algumas rampas de colúviação, formando cenários propícios à utilização agrícola, etc. A cobertura vegetal, nesta área, é mais intensa, refletindo os efeitos dos fatores climáticos locais. Em alguns alvéolos intermontanos, a vegetação muda de aspecto.

Com relação à constituição do terreno foi verificado, em campo, a presença de material coluvial vermelho, rico em clásticos grosseiros e sem estratificação.

A demarcação do limite superior da área, em estudo, foi feita de forma prática, considerando-se os divisores d'água das bacias de primeira ordem que drenam suas águas, diretamente, para o canal principal; em última análise, constituíram o limite operacional superior do subsistema Alto Curso. A demarcação do limite inferior da área deveria corresponder ao limite inferior do ambiente denominado de Alto Curso. A existência de constrições, ou seja, de "nick points" à jusante destes pontos, de uma maior ação de meteorização química, a predominância de uma ação deposicional de clásticos e o transporte de sedimentos mais finos são indícios que consubstanciam a mudança de ambientes geomorfologicamente distintos.

A estreita associação entre processos geradores e formas resultantes é, então, significativo fator de decisão. As formas, geralmente encontradas à jusante de constrições do relevo, se reproduzem aqui também, na área do Médio Curso do rio Macacú, representados pelos morros do tipo "meia laranja", maior presença de rampas de colúviação, algumas parcialmente dissecadas e alvéolos, agora maiores e mais arredondados, utilizados para a agricultura e concentrações urbanas.

Isto constitui um cenário totalmente distinto do encontrado no ambiente Alto Curso. Ainda nesta área de Médio Curso, há presença de terraços fluviais originados, possivelmente, de depósitos aluviais recentes, em concordância com a posição do nível de base geral.

A constituição do terreno, verificada por ocasião do trabalho de campo, mostrou que, à jusante da constrição do relevo, as rampas de deposição aparecem mais intensamente dissecadas, com presença de material coluvial amarelo e predomínio de sedimentos finos e terraços

apresentando sequências horizontais com material areno-siltico-argiloso, contrastando, assim, com o tipo de material encontrado a montante da constrição. A identificação das características acima referidas levou, de forma dedutiva, à decisão de se tomar o local do estrangulamento do relevo como sendo o limite inferior da área do Alto Macacú.

A Figura 2 mostra na escala de 1:50.000, a área correspondente ao subsistema denominado de Alto Macacú.

### ESTABELECIMENTO DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

A etapa seguinte, no desenvolvimento do trabalho, consistiu no estabelecimento e medições dos principais índices morfométricos, do Alto Curso do rio Macacú.

Primeiramente foram delimitadas as bacias de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª ordens; a seguir foram registrados, para cada sub-bacia, os valores correspondentes aos comprimentos dos cursos d'água, a largura e o comprimento de cada sub-bacia e, com o auxílio do planímetro, foram estabelecidas as respectivas áreas das sub-bacias. De posse destes dados passou-se, então, a calcular os índices, conforme definição abaixo:

- **ÍNDICE DE FORMA** - Este índice morfométrico expressa a geometria da bacia principal e das sub-bacias do rio Macacú e seu valor é a expressão numérica resultante da ação de vários fatores como: geologia, clima, vegetação, etc. Este índice se resume numa relação entre a largura e o comprimento da bacia que está sendo estudada. Formalmente, é assim expresso:

$IF = L/C$  onde  $L$  = Largura da bacia, obtida pela extensão do eixo menor da bacia.

$C$  = Comprimento da bacia, obtido pela extensão do eixo maior.

- **DENSIDADE DE DRENAGEM** - É o mais importante parâmetro morfométrico na análise de uma bacia de drenagem. Ele expressa o grau de dissecação topográfica da bacia ou, em outras palavras, expressa a quantidade disponível de canais de escoamento. A densidade de drenagem possui diversas funções operacionais, como a de responder aos controles exercidos pela ação climática, pela vegetação, pelas condições litológicas do terreno, etc. Como indicador do escoamento das águas e também do transporte de sedimentos, na bacia, oferece subsídios para o conhecimento do potencial aquífero de uma região. Formalmente, a densidade de drenagem é expressa por:

$Dd = Lb/A$  onde  $Lb$  = Comprimento total dos rios ou canais existentes na bacia.

$A$  = Área da bacia considerada.



- **ALONGAMENTO DOS CANAIS** - Este parâmetro caracteriza a distância que a água do escoamento superficial tem que percorrer até atingir o canal referente à bacia analisada. Formalmente, representa o inverso do dobro da densidade de drenagem da referida bacia.

$$Ac = 1/Dd$$

- **FREQUÊNCIA DE CANAIS** - Este índice expressa a frequência de canais na área de uma determinada bacia estudada. Expressa o potencial aquífero da bacia. Formalmente, é expressa:

$$Fc = nCn/An \quad \text{onde} \quad nCn = \text{Número de canais da bacia de ordem } n.$$

$$An = \text{Somatório das áreas correspondentes às bacias de ordem } n.$$

- **RELAÇÃO DE BIFURCAÇÃO** - Este parâmetro foi definido por Horton (1945) como sendo a relação entre o número total de segmentos de uma certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior. Formalmente, é expresso:

$$Rb = Nu / Nu + 1$$

A relação de bifurcação pode variar com a natureza do solo, influenciada que é pelo comportamento hidrológico do terreno.

- **RELAÇÃO DE ALONGAMENTO** - É dada pela fórmula:

$$Rl = Cn / Cn - 1 \quad \text{onde} \quad Cn = \text{Comprimento do rio da bacia da ordem } n.$$

$$Cn - 1 = \text{Comprimento do rio da bacia de ordem subsequente.}$$

## O TRATAMENTO ESTATÍSTICO

### O ESTABELECIMENTO DAS CLASSES DE SUB-BACIAS DO ALTO MACACÚ

A forma de uma bacia de drenagem é expressa pela relação entre a sua largura e o comprimento. Ela pode ser compreendida como sendo resultante da interação de vários fatores geo-ambientais, tais como: geologia, geomorfologia e os climato-botânicos.

Uma análise das formas das diferentes sub-bacias que compõem uma unidade geomorfológica maior, como no caso a do Alto Curso do Macacú, poderá se revestir em importante contribuição para uma caracterização morfométrica da área total da bacia.

Um conjunto de sub-bacias de uma mesma ordem, isto é, que apresente pouca diversidade de formas, pode significar uma área com um controle geológico bem definido ou homogeneidade de composição do solo, gerando formas estatisticamente semelhantes. Um conjunto de sub-bacias que apresentem diversidade de feições pode indicar ser esta uma área muito fraturada, ou com diferentes tipos de terrenos, ou submetida a

microclimas diferentes, etc.

Objetivando agrupar as sub-bacias encontradas no Alto Macacú, em função de suas formas, foi aplicada uma técnica estatística classificatória, Uni-variada, conhecida como "ALGORÍTMO DE STURGES".

Esta técnica, por conseguinte, buscou detectar, em última análise, se a área do Alto Macacú apresentava grande diversidade entre suas unidades geo-ambientais.

O Algoritmo de Sturges se baseia nos seguintes segmentos:

a) Cálculo do Número de Classes (m)

$$m = 1 + 3,3 \log_{10} n \quad \text{onde } n = \text{número de unidades experimentais} \\ \text{(sub-bacias no caso).}$$

b) Cálculo do Intervalo de Classe (Ac)

$$ac = A/m \quad \text{onde } A = \text{Amplitude dos dados da variável considera-} \\ \text{da (I.F.).}$$

Este Algoritmo foi aplicado, a seguir, utilizando-se os índices de forma, para o conjunto das sub-bacias componentes das bacias de 1ª, 2ª e 3ª ordens, gerando os seguintes resultados.

- Para Bacias de 1ª Ordem:

$$m = 1 + 3,3 \log_{10} 136$$

$$m = 8$$

$$Ac = A/m \quad Ac = 1.0 - 0.25/8$$

$$Ac = 0.09375$$

O resultado da divisão por classes é apresentado, a seguir, na Tabela 1 onde consta uma relação das bacias de 1ª ordem encontradas no Alto Macacú. Na Figura 3, consta a distribuição espacial representativa desta classificação.

O emprego desta técnica classificatória uni-variada gerou sete classes diferentes para as sub-bacias componentes das bacias de 1ª ordem, levando-se em conta o índice de forma. Ficou, portanto, evidenciado a grande diversidade de formas relacionadas às bacias de 1ª ordem, sendo que cerca de 60% das sub-bacias ficaram aglutinadas entre as classes 2 e 3, isto é, entre os índices que variam de 0.34 a 0.53. Isto significa, fisicamente, que 60% das sub-bacias de 1ª ordem se apresentam com uma forma mais alongada, enquanto que o restante apresenta grande variedade de formas. Genericamente, estas sub-bacias podem ser consideradas alongadas.

Para as bacias de 2ª e 3ª ordens foram feitos procedimentos idênticos, gerando os seguintes resultados:



TABELA I

RELAÇÃO DAS SUB-BACIAS COMPONENTES DE BACIAS DE 1ª ORDEM,  
POR CLASSES, BASEADO EM STURGES









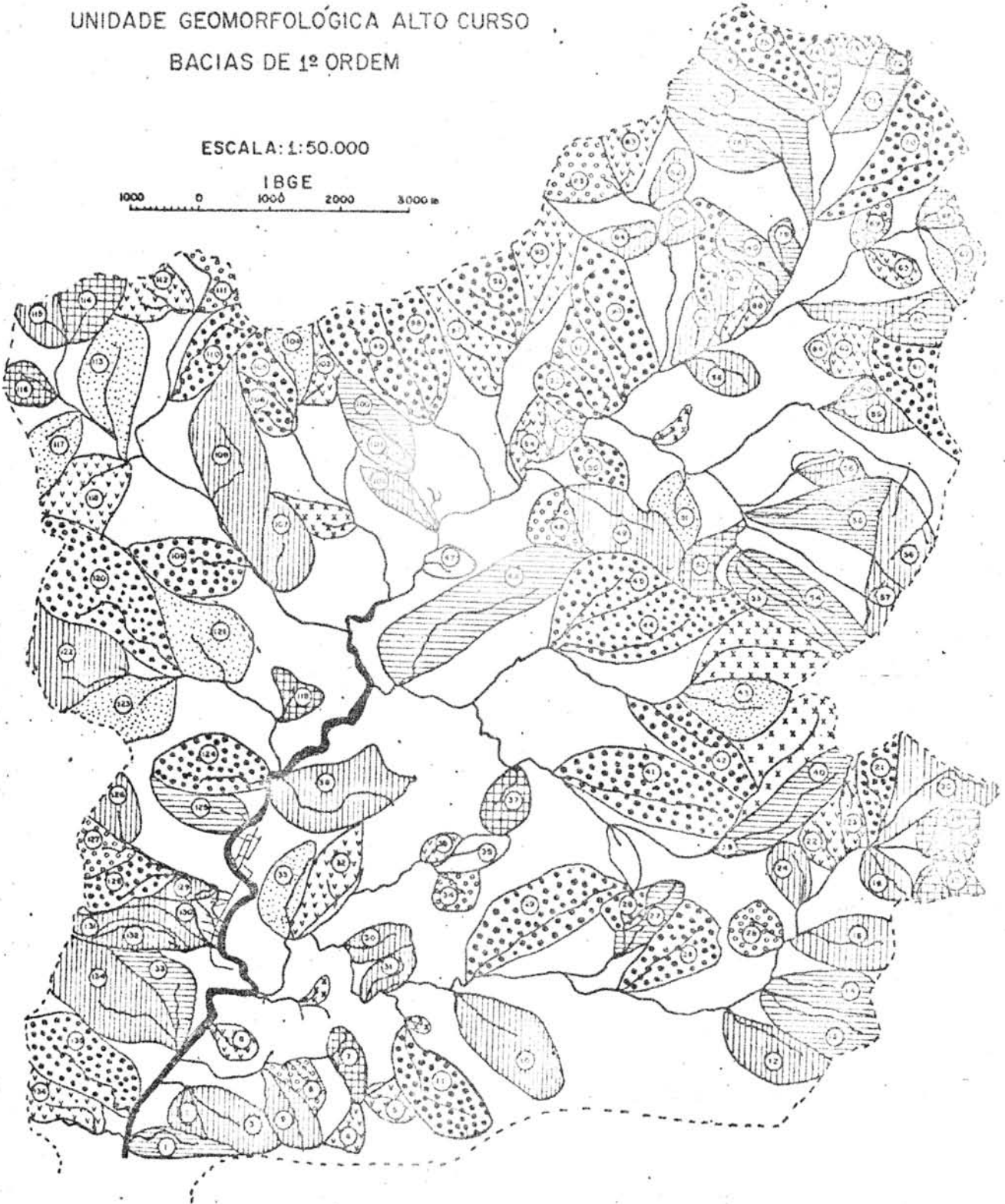
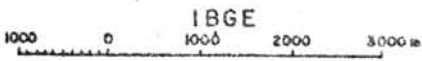
CLASSES	INTERVALOS	NÚMERO DAS SUB-BACIAS	Nº OCORRENC.	f
1	 0.25 - 0.34	1-13-14-27-40-46-53-54-55-71-76-77-78-79-80-100-125-133	18	13.23
2	 0.34 - 0.44	11= 21-26-28-29-35-41-42-44-45-47-50-61-70-74-75-86-- 90 91-92-96-98-99-105-106-109-110-120--124-128-135	31	22.79
3	 0.44 - 0.53	2-3-9-10-12-15-16-20-24-30-31-38-49-56-57-58-59-76-81- 82-84-87-89-93-102-107-108-115-122-126-129-130-131-132. 134	35	25.74
4	 0.53 - 0.62	33-43-51-67-101-104-113-117-121-123	10	7.35
5	 0.62 - 0.72	4-5-8-22-23-32-36-63-64-65-73-83-88-94-95-97-103-112- 118-136	20	14.71
6	 0.72 - 0.81	7-17-19-37-52-62-68-114-116-119	10	7.35
7	 0.81 - 0.91			
8	 0.91 - 1.00	6-18-25-34-39-48-60-69-72-85-111-127	12	8.82

FIGURA 3

UNIDADE GEOMORFOLÓGICA ALTO CURSO  
BACIAS DE 1º ORDEM

ESCALA: 1:50.000



MAURO ARGENTO

- Para as bacias de 2ª ordem:

$$n = 31$$

$$m = 6$$

$$A = 0.093$$

- Para as bacias de 3ª ordem os resultados foram os seguintes:

$$n = 6$$

$$m = 4$$

$$A = 0.1475$$

Os resultados destes procedimentos são sintetizados na Tabela 2 e Figuras 4 e 5.







Para as bacias de 2ª ordem foram diagnosticadas seis classes, ficando cerca de 77% das sub-bacias dentro das classes 1 e 3, isto é, com índices variando de 0.29 a 0.57. Isto quer dizer que, fisicamente, as sub-bacias de 2ª ordem ainda apresentam grande diversidade em relação as suas formas, porém, já se faz sentir mais significativamente o seu padrão alongado.

Já nas sub-bacias de 3ª ordem, dentro do ambiente do Alto Macacú, 33% das bacias aparecem com maior incidência à circularidade, índices próximos de 1.0, como são os casos das sub-bacias 1 e 3 que se agrupam na classe 4 (0.68 - 0,83).

A comparação destas classificações nos faz inferir que, em se analisando, tanto isoladamente as bacias de cada ordem, como no conjunto das bacias das três ordens processadas, as classes indicadoras de baixos índices de forma aglutinam um maior percentual de sub-bacias, comprovando assim que no Alto Curso do rio Macacú encontram-se as bacias tendendo a um maior alongamento em suas formas. A grande diversidade de classes, encontrada para cada ordem de bacia, pode indicar que a área do Alto Curso não apresenta, por exemplo, grande homogeneidade estrutural, ou de composição do terreno, ou as mesmas condições dinâmicas.

Esta técnica classificatória Uni-variada, quando aplicada ao índice de forma, mostrou-se consistente e forneceu significativos subsídios para comprovação da interpretação descritiva da área do Alto Macacú. A utilização desta técnica, seguindo o mesmo procedimento, aplicada para os dados referentes ao Médio e Baixo Cursos do rio poderia servir, também, de importante subsídio para classificações, descrições e relacionamentos entre diferentes unidades ambientais identificáveis naquelas áreas.

DE BACIAS DE 2º ORDEM,  
STURGES

CLASSES	INTERVALOS	NUMERO DAS SU	%
1	 0.29-0.38	1-4-6-9-1-12-22-24-29	29.03
2	 0.38 - 0.48	2-7-15-18-23-25	22.58
3	 0.48 - 0.57	8-14-17-19-20-27-28-31	25.81
4	 0.57 - 0.66	5	3.22
5	 0.66 - 0.76	3-11-16-26-30	16.13
6	 0.76 - 0.85	13	3.22

## BACIAS DE 3

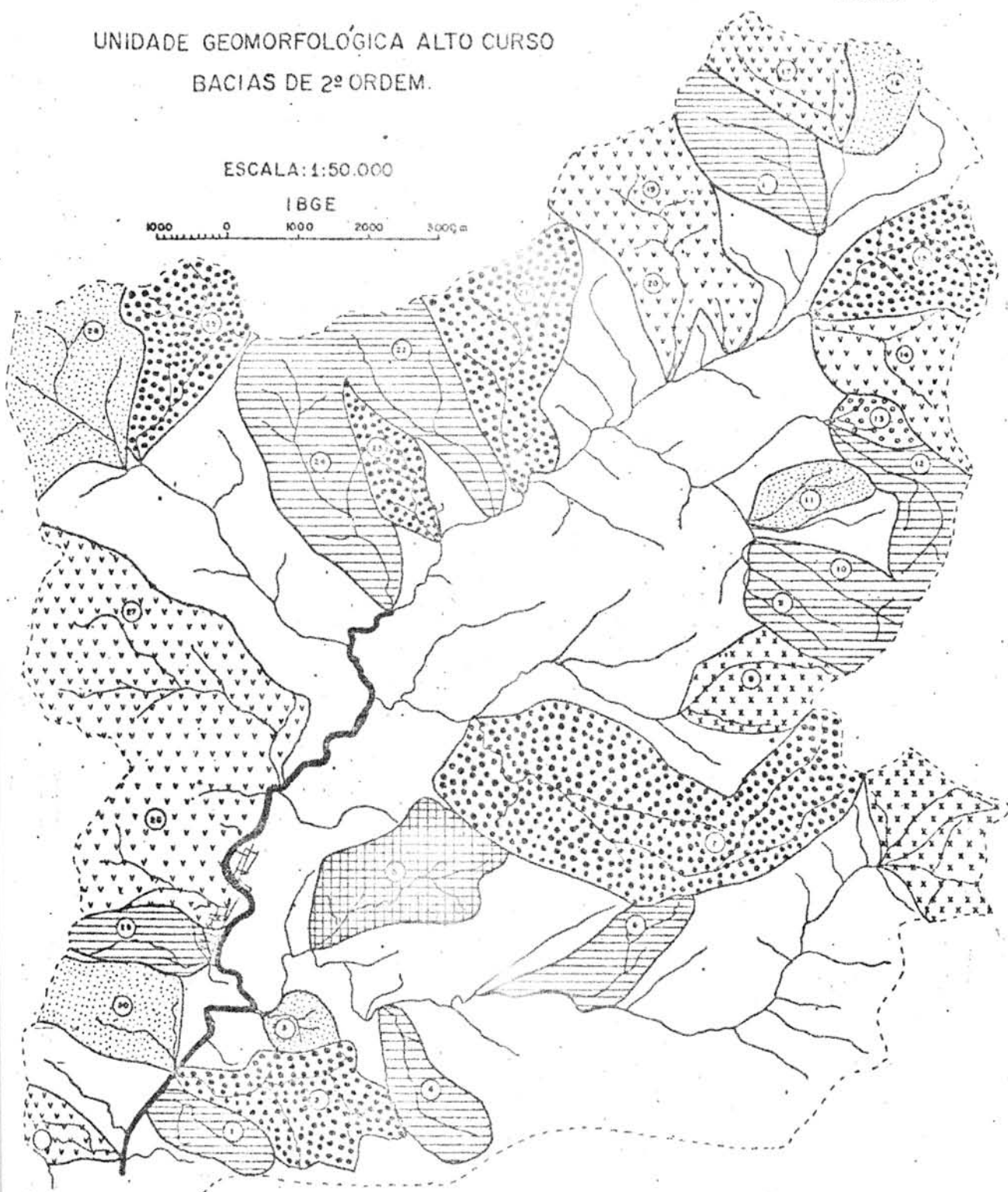
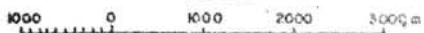
1	 0.24 - 0.39	2-5-6-	50.00
2	 0.39 - 0.53		
3	 0.53 - 0.68	4	16.66
4	 0.68 - 0.83	1.3.	33.34

FIGURA 4

UNIDADE GEOMORFOLÓGICA ALTO CURSO  
BACIAS DE 2º ORDEM.

ESCALA: 1:50.000

IBGE

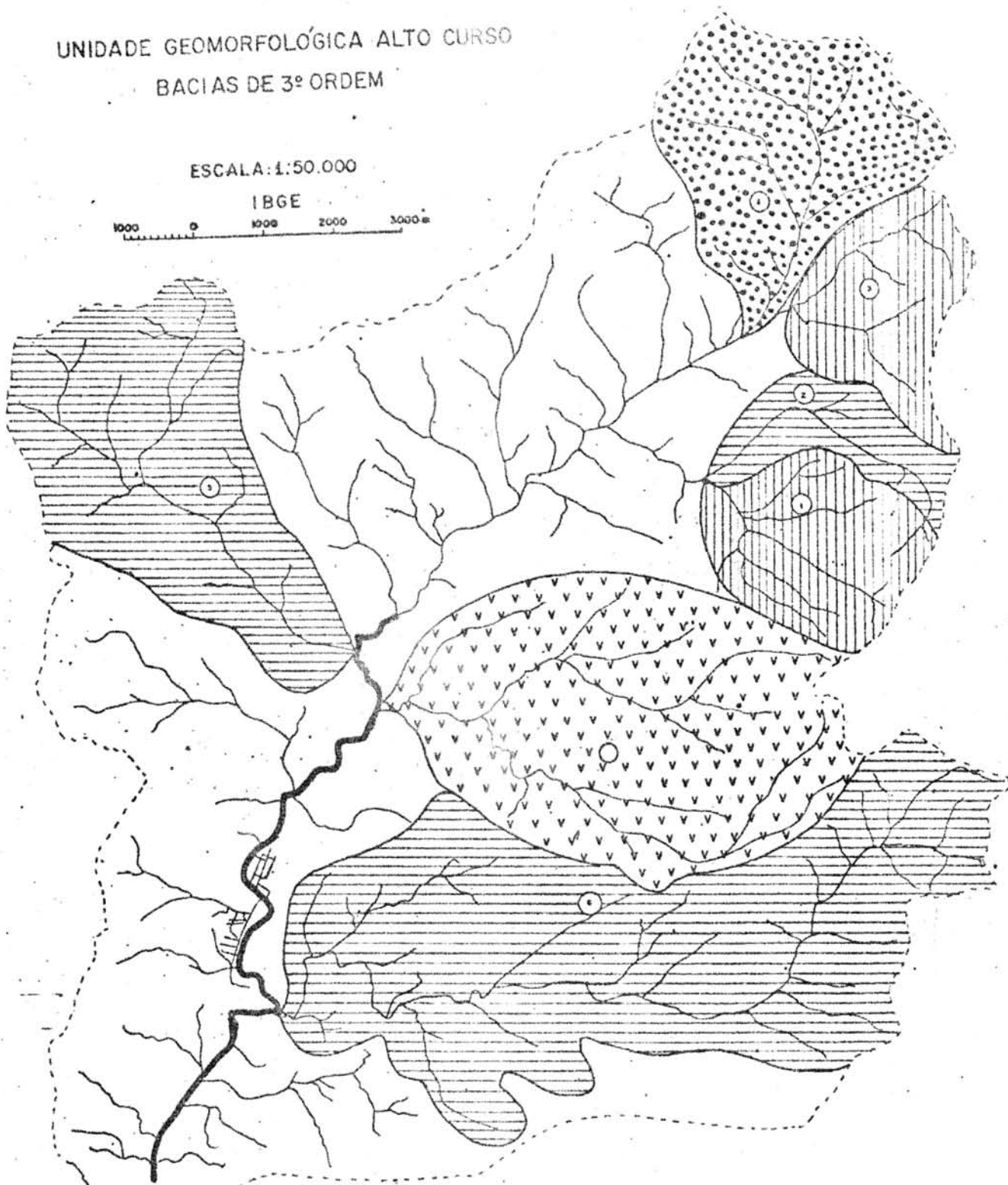
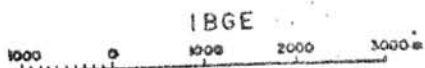


MAURO ARGENTO

FIGURA 5

UNIDADE GEOMORFOLÓGICA ALTO CURSO  
BACIAS DE 3º ORDEM

ESCALA: 1:50.000



MAURO ARGENTO

## COMPARAÇÕES ENTRE AS SUB-BACIAS DO ALTO CURSO DO RIO MACACÚ

Os dados referentes aos principais parâmetros morfométricos do Alto Curso do rio Macacú foram utilizados para verificar possíveis variações entre os comportamentos morfométricos, dentro de uma mesma unidade geomorfológica.

Os valores diagnósticos desses índices aparecem abaixo.

ORDENS	V A R I Á V E I S				
	Dd	Ac	Fc.	Rb	Rl
	1	2	3	4	5
1	2.0390	0.2450	1.6900	4.3800	1.5600
2	1.4000	0.3500	0.4100	5.1600	4.2700
3	0.4300	1.1600	0.1060	3.0000	6.1200
4	0.1090	4.5800	0.0540	2.0000	0.2600

## Colunas

- 1 = Densidade de drenagem
- 2 = Alongamento dos canais
- 3 = Frequência dos canais
- 4 = Relação de bifurcação
- 5 = Relação de alongamento

Para tal verificação foi empregada a Técnica Classificatória Paramétrica Multi-Variada de análise de grupamentos (Cluster Analysis). O emprego desta técnica visou ao estabelecimento de grupamentos significativos entre as diferentes ordens de bacia de uma mesma unidade ambiental (O Alto Curso do rio Macacú).

O critério utilizado para estabelecimento de indicadores de similaridade foi da distância taxonômica, expressa pela fórmula abaixo.

$$d_{ij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}{m}$$

onde m é o número total de variáveis

O procedimento estatístico desta técnica parte da construção de uma matriz de distâncias, com a qual se chega à construção de uma matriz das menores similaridades de cada coluna. A partir desta última matriz geram-se, então, pares mutuamente fortes, descobrindo-se, assim, os parâmetros para o grupamento representado pelos valores extremos dessa última matriz (maiores pares distantes).

Estes valores servem, então, de INPUT para o dendrograma que distribui a amplitude dos parâmetros em quartis.

Para a execução destes experimentos estatísticos foram utilizados programas contendo as sub-rotinas de leitura dos dados (INPUT), impressão de matrizes, WPGA (estabelecimento de grupos pelos maiores pares distantes) e DENDRO (estabelecimento dos dendrogramas). Para tal fim foram utilizados os computadores B-6700 existentes no NCE/UFRJ.

A matriz apresentada, a seguir, reproduz o INPUT representativo do Alto Curso do rio Macacú, de forma computalizada.

	1	2	3	4	5
1	2.0390	0.2450	1.6900	4.3800	1.5600
2	1.4000	0.3500	0.4100	5.1600	4.2700
3	0.4300	1.1600	0.1060	3.0000	6.1200
4	0.1090	4.5800	0.0540	2.0000	0.2600

INPUT DATA MATRIX - COLUMNS = VARIABLES, ROWS = OBSERVATIONS

A interpretação do dendrograma acima mostra que, em termos de valores absolutos, a unidade geomorfológica denominada de Alto Curso do Macacú, apresenta diversidades numéricas, ao longo de suas quatro ordens. O dendrograma mostra, ainda, que as sub-bacias de 3ª e 4ª ordens apresentam similaridades em termos de valores absolutos de parâmetros morfométricos. No entanto, as sub-bacias de 1ª e 2ª ordens apresentam diferenciações entre si. Fica ainda evidenciado que, no Alto Macacú, os valores morfométricos tendem a crescer de ordem para ordem. Esta análise multi-variada vem corroborar a descrição física efetuada por ocasião da interpretação dos resultados obtidos para os índices de forma, mencionados no capítulo anterior.

#### O COMPORTAMENTO MORFOMÉTRICO DA BACIA DO RIO MACACÚ

Para verificar se o comportamento morfométrico do Alto Curso do rio Macacú difere, significativamente, do comportamento morfométrico de toda a bacia de drenagem, foram feitas análises de correlações. A técnica utilizada foi a do Coeficiente de Correlação de PEARSON, formulada a seguir:

$$r = \text{COV } XY / s_Y \quad \text{onde} \quad \text{COV } XY = E(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})/n$$

$$s^2 = E(X - \bar{X})^2/n - 1$$

resumidamente esta fórmula é expressa:

$$r = \frac{nEX_1X_2 - EX_1EX_2}{\sqrt{((nEX_1^2 - (EX_1)^2)(nEX_2^2 - (EX_2)^2))}}$$

Obs.:  $X_1 = X$  e

$X_2 = Y =$  variáveis

$E =$  Somatório

$s^2 =$  variância

$s =$  Desvio Padrão

$r =$  Correlação de Pearson



A utilização da Técnica de grupamento " CLUSTER ANALYSIS" gerou o seguinte DENDROGRAMA PARA O ALTO MACACÓ



DENDROGRAMA GERADOR DAS AREAS ENLOBADAS VALORES AO LONGO DO EIXO DOS "X" SAO INDICADORES DE SIMILARIDADE

Primeiramente, correlações foram feitas entre os diferentes parâmetros morfométricos, mensurados para toda a bacia, ou seja, para as três grandes unidades ambientais componentes da bacia de drenagem do rio macacú. Estas correlações foram realizadas, considerando ordem por ordem de sub-bacias, dentro de cada unidade ambiental. Assim as matrizes que serviram de INPUT para o procedimento estatístico se compunham de dados referentes a sub-bacias de uma determinada ordem, que ocorriam no Alto, Médio e Baixo Cursos do rio. Por conseguinte, as matrizes de entrada apresentam, na direção das fileiras, as três unidades geomorfológicas e, na direção das colunas, as variáveis morfométricas.

A seguir são mostrados os respectivos OUTPUTS contendo a matriz de entrada, a matriz de similaridade e o diagrama representativo de cada par de associação ou relacionamento.

COMPORTAMENTO MORFOMÉTRICO DAS SUB-BACIAS DE 1ª ORDEM  
ENCONTRADAS EM TODA A ÁREA DRENADA PELO RIO MACACÚ

(Matriz de Entrada)

		Dd <sub>1</sub>	Ac <sub>2</sub>	Fc <sub>3</sub>	Rb <sub>4</sub>	Rl <sub>5</sub>
Alto	1	2.0390	0.2450	1.6900	4.3800	1.5600
Médio	2	1.6800	0.3000	1.7100	4.5700	3.1500
Baixo	3	1.8600	0.2700	2.6700	4.0000	3.7800

INPUT DATA MATRIX - COLUMNS = VARIABLES, ROWS = OBSERVATIONS

Dd = Densidade de Drenagem

Ac = Alongamento dos Canais

Fc = Frequência dos Canais

Rb = Relação de Bifurcação

Rl = Relação de Alongamento

Alto Curso

Bacia do Macacú Médio Curso

Baixo Curso

A análise conjunta das matrizes de similaridade e correspondentes diagramas levam à seguinte interpretação:

As correlações, mesmo com pequeno número de unidades experimentais, foram significativas, segundo a Tabela de Significância de Pearson (Gl n-1).

As correlações efetuadas entre os diferentes parâmetros morfométricos, mensurados para cada ordem dentro das três unidades ambientais, que compõem a área drenada pelo rio Macacú, mostraram uma forte correlação inversa entre a densidade de drenagem e o alongamento dos canais ( $r_{Dd_1/Ac_1} = -0.99$ ,  $r_{Dd_2/Ac_2} = -0.95$  e  $r_{Dd_3/Ac_3} = -0.89$ ).

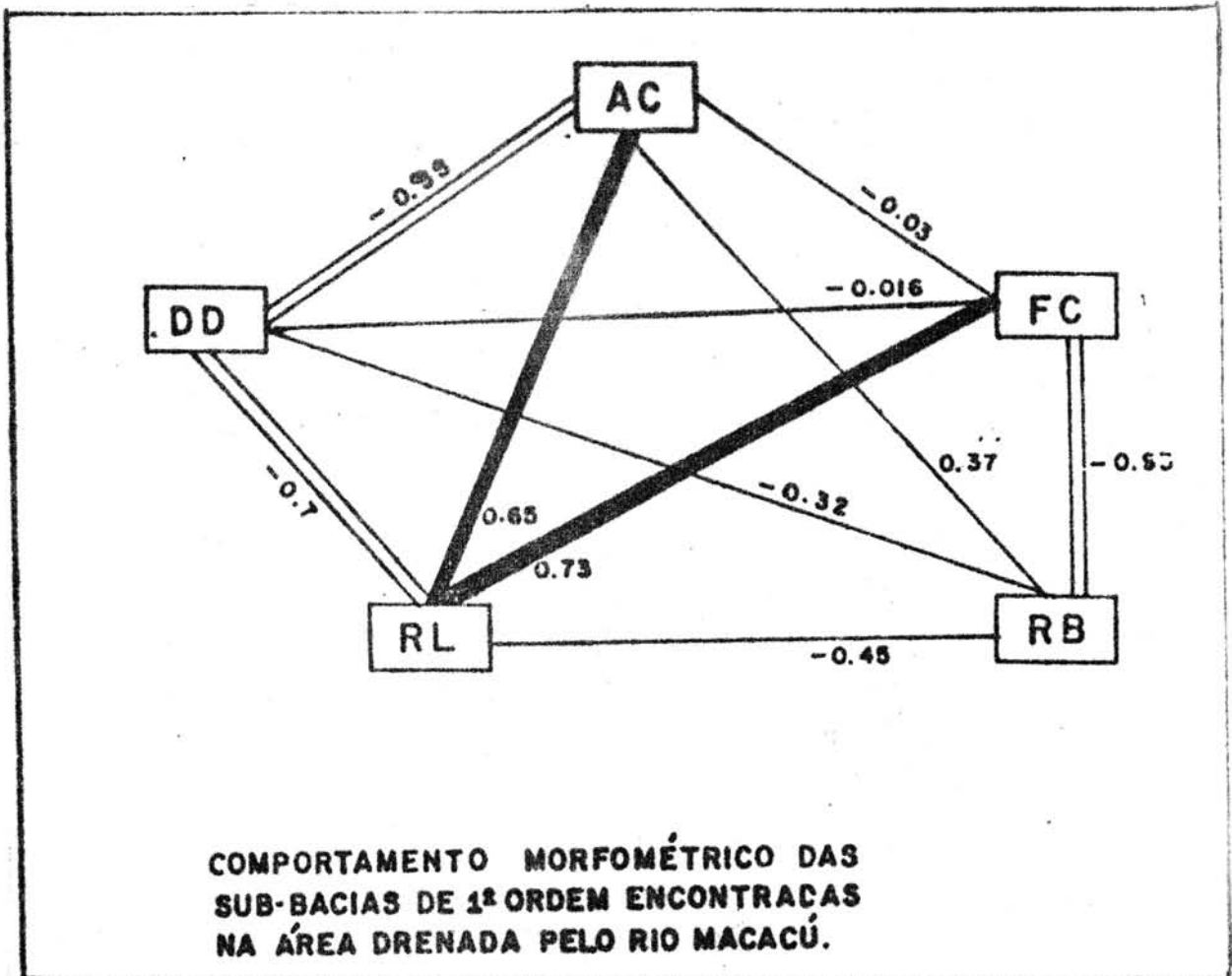
Geomorfologicamente isto pode significar que, para bacias de drenagem instaladas em áreas fraturadas, como é aqui o caso, o aumento da densidade de drenagem implica num menor alongamento do curso fluvial.

## MATRIZ DE SIMILARIDADE - Sub-bacias de 1ª Ordem

	Dd 1	Ac 2	Fc 3	Rb 4	Rl 5
Dd 1	1.0000	-0.9987	-0.0162	-0.3288	-0.6937
Ac 2	-0.9987	1.0000	-0.0346	0.3764	0.6562
Fc 3	-0.0162	-0.0346	1.0000	-0.9389	0.7314
Rb 4	-0.3288	0.3764	-0.9389	1.0000	-0.4520
Rl 5	-0.6937	0.6562	0.7314	-0.4520	1.0000

SIMILARITY MATRIX

DIAGRAMA DAS SIMILARIDADES NAS SUB-BACIAS DE 1ª ORDEM



COMPORTAMENTO MORFOMÉTRICO DAS SUB-BACIAS DE 2ª ORDEM  
ENCONTRADAS EM TODA A ÁREA DRENADA PELO RIO MACACÚ

( Matriz de entrada )

	Dd 1	Ac 2	Fc 3	Rb 4	Rl 5
Alto 1	1.4000	0.3500	0.4100	5.1600	4.2700
Medio 2	2.0000	0.2500	1.4000	3.5000	1.3300
Baixo 3	0.4900	1.0200	0.6700	3.0000	4.0400

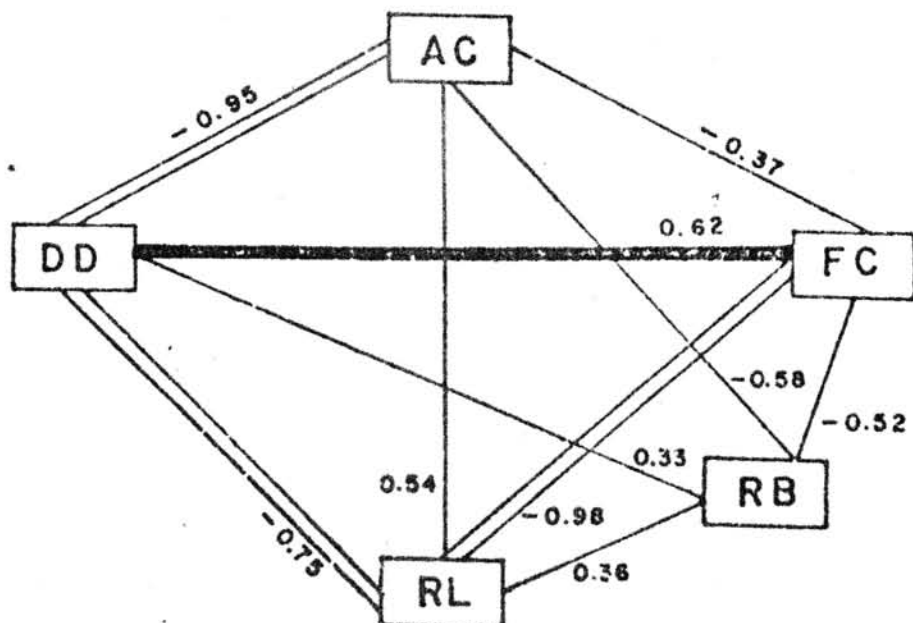
INPUT DATA MATRIX - COLUMNS = VARIABLES, ROWS = OBSERVATIONS

MATRIZ DE SIMILARIDADE - Sub-bacias de 2ª Ordem

	1	2	3	4	5
1	1.0000	-0.9594	0.6234	0.3344	-0.7571
2	-0.9594	1.0000	-0.3776	-0.5866	0.5421
3	0.6234	-0.3776	1.0000	-0.5284	-0.9828
4	0.3344	-0.5866	-0.5284	1.0000	0.3826
5	-0.7571	0.5421	-0.9828	0.3826	1.0000

SIMILARITY MATRIX

DIAGRAMA DAS SIMILARIDADES NAS SUB-BACIAS DE 2ª ORDEM



COMPORTAMENTO MORFOMÉTRICO DAS  
SUB-BACIAS DE 2ª ORDEM ENCONTRADAS  
NA ÁREA DRENADA PELO RIO MACACÚ.

COMPORTEAMENTO MORFOMÉTRICO DAS SUB-BACIAS DE 3ª-ORDEM  
ENCONTRADAS EM TODA A ÁREA DRENADA PELO RIO MACACÚ

( Matriz de entrada )

	Dd	Ac	Fc	Rb	Rl
	1	2	3	4	5
Alto 1	0.4300	1.1600	0.1060	1.0000	6.1200
Medio 2	1.2000	0.4200	0.3200	2.0000	3.7500
Baixo 3	0.2000	2.5000	0.4000	2.0000	0.1100

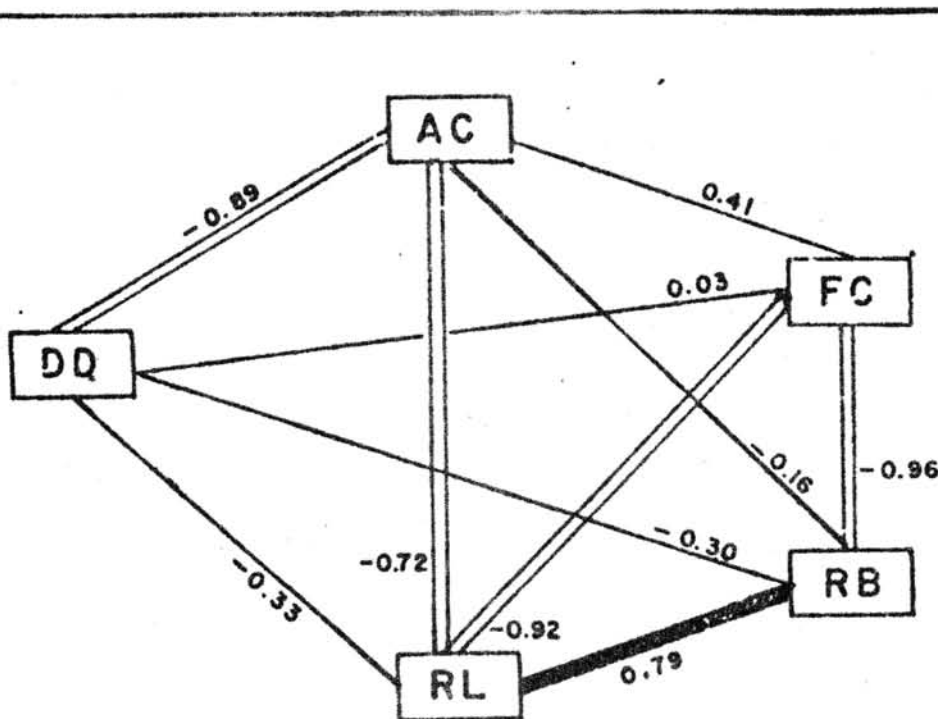
INFUT DATA MATRIX - COLUMNS = VARIABLES, ROWS = OBSERVATIONS

MATRIZ DE SIMILARIDADE -Sub-bacias de 3ª Ordem

	1	2	3	4	5
1	1.0000	-0.8928	0.0359	-0.2976	0.3361
2	-0.8928	1.0000	0.4181	-0.1643	-0.7243
3	0.0359	0.4181	1.0000	-0.9648	-0.9291
4	-0.2976	-0.1643	-0.9648	1.0000	0.7991
5	0.3361	-0.7243	-0.9291	0.7991	1.0000

SIMILARITY MATRIX

DIAGRAMA DAS SIMILARIDADES NAS SUB-BACIAS DE 3ª ORDEM



COMPORTAMENTO MORFOMÉTRICO DAS  
SUB-BACIAS DE 3ª ORDEM ENCONTRADAS  
NA ÁREA DRENADA PELO RIO MACACÚ.

É importante notar que esta associação inversa foi a única cujos resultados levaram à igualdade de interpretação para as sub-bacias de 1ª, 2ª e 3ª ordens de toda a área drenada pelo rio Macacú. No entanto, uma substancial correlação inversa entre a Densidade de enagem e a Relação de Alongamento só se fez sentir entre as sub-bacias de 1ª e 2ª ordens ( $r_{Dd_1/Rb_1} = -0.7$ ,  $r_{Dd_2/Rb_2} = -0.75$ ).

Esta mesma associação relativa às sub-bacias de 3ª ordem mostrou uma correlação direta e fraca ( $r_{Dd_3/Rl_3} = 0.33$ ).

Também a associação entre o alongamento dos canais superficiais e a relação de escoamento mostrou-se direta e substancial nas sub-bacias de 1ª e 2ª ordens ( $r_{Ac_1/Rl_1} = 0.65$ ,  $r_{Ac_2/Rl_2} = 0.54$ ) e um comportamento inverso nas sub-bacias de 3ª ordem. ( $r_{Ac_3/Rl_3} = -0.72$ ).

No entanto, comportamento peculiar se verificou na associação entre a Relação de Alongamento e a Frequência dos Canais, pois ela se mostrou fortemente inversa nas sub-bacias de 2ª e 3ª ordens ( $r = -0.98$  e  $r = -0.92$ ), enquanto nas sub-bacias de 1ª ordem mostrou uma correlação forte e direta ( $r^* = 0.73$ ).

Infere-se daí que, quanto ao comportamento morfométrico dessas variáveis, existem diferenças significativas entre as sub-bacias de 1ª, 2ª e 3ª ordens que compõem a grande bacia do rio Macacú.

Situação análoga se verificou na associação entre as variáveis Frequência de Canais e Relação de Bifurcação; quando mensuradas para as sub-bacias de 1ª e 3ª ordens a correlação foi alta e inversa ( $r_{Fc_1/Rb_1} = -0.98$  e  $r_{Fc_3/Rb_3} = -0.96$ ). Esta mesma associação na sub-bacia de 2ª ordem se mostrou menos forte ( $r = -0.52$ ).

Deduz-se, assim, que embora o tipo da correlação não tenha mudado para toda a área drenada pelo rio Macacú, o grau da associação (forte e fraco) pode variar e, com isso, embutir um alto grau residual, quando se fornece este relacionamento para toda a área, através de um único valor de correlação.

#### COMPARAÇÃO MORFOMÉTRICA ENTRE O ALTO CURSO E TODA A ÁREA DRENADA PELO RIO MACACÚ

Objetivando comparar o comportamento morfométrico da unidade ambiental denominada Alto Macacú com toda a área drenada pelo canal principal, utilizaram primeiramente os dados que serviram de INPUT para comparar as sub-bacias do Alto Curso (item já citado). Posteriormente, formou-se uma outra matriz, agregando, a estes valores, outros correspondentes às sub-bacias de 1ª, 2ª e 3ª ordens encontradas em toda a área drenada pelo rio Macacú. A seguir, foram aplicados testes de correlação, utilizando-se cada uma dessas matrizes, gerando a seguinte fonte de informação:



## MATRIZ DE ENTRADA - Alto Curso do rio Macacú

ORDENS	Dd 1	Ac 2	Fc 3	Rb 4	Rl 5
1	2.0390	0.2450	1.6900	4.3800	1.5600
2	1.4000	0.3500	0.4100	5.1600	4.2700
3	0.4300	1.1600	0.1060	3.0000	6.1200
4	0.1090	4.5800	0.0540	2.0000	0.2600

INPUT DATA MATRIX - COLUMNS = VARIABLES, ROWS = OBSERVATIONS

A análise das correlações, para a unidade ambiental denominada de Alto Curso do rio Macacú, mostrou um comportamento morfométrico coerente em relação à área drenada pelo rio Macacú. Os diagramas acima mostram que, tanto para o Alto Curso, tomado isoladamente, como para toda a bacia de drenagem, aumentando a densidade de drenagem e a frequência de canais, diminui o alongamento dos canais de escoamento.

É interessante notar que são associações similares e os valores dessas correlações apresentam-se bem próximos ( $r_{Dd/Fc}$  0.89 e 0.79 - ambas fortes e diretas).

Pela análise dos coeficientes de correlação de Pearson, infere-se que, morfometricamente, as sub-bacias de 1ª, 2ª e 3ª ordens apresentam variações significativas, ou seja, nesta escala existem diversidades geomorfológicas marcantes. Numa outra escala adotada, as correlações, quando analisadas por unidades ambientais, ou seja, aglutinando as sub-bacias de cada ordem, se mostraram condizentes quando comparadas com a unidade do Alto Curso.

Preconiza-se, assim, que um estudo de correlações morfométricas numa bacia de drenagem deva ser feito por sub-bacias isoladamente e, também, pelo conjunto das diferentes sub-bacias, que compõem cada unidade ambiental distinta, como é o caso do Alto, Médio e Baixo Cursos. Este procedimento fornecerá maiores subsídios à compreensão geomorfológica da área, ampliando-se, por conseguinte, o grau de conhecimento da bacia de drenagem, como um todo. Em conclusão, salientamos que, em função dos objetivos propostos e da escala adotada, o estudo de correlações morfométricas, considerando toda a área drenada pelo rio Macacú, apresentou poder diagnóstico. No entanto, é importante lembrar que, em termos de valores relativos, os coeficientes de correlação podem apresentar valores discrepantes (grau do relacionamento), mascarando, assim, a interpretação das inferências geomorfológicas. Este problema, estaria minimizado, caso o resultado fosse comparado com um estudo entre as sub-bacias de cada ordem, justamente como procedemos no presente trabalho.

## MATRIZ DE SIMILARIDADE - Alto Curso

	Dd 1	Ac 2	Fc 3	RB 4	Rl 5
Dd 1	1.0000	-0.7952	0.8949	0.8545	-0.0461
Ac 2	-0.7952	1.0000	-0.5657	-0.8711	-0.5678
Fc 3	0.8949	-0.5657	1.0000	0.5337	-0.3046
RB 4	0.8545	-0.8711	0.5337	1.0000	0.3012
Rl 5	-0.0461	-0.5678	-0.3046	0.3012	1.0000

SIMILARITY MATRIX

## MATRIZ DE ENTRADA - Toda a área drenada pelo rio Macacú

UNIDADES	ORDENS	Dd	Ac	Fc
		1	2	3
A L T O	1-1°	2.0390	0.2450	1.6900
	2-2°	1.4000	0.3500	0.4100
	3-3°	0.4300	1.1600	0.1060
	4-4°	0.1090	4.5800	0.0540
M E D I O	5-1°	1.6800	0.3000	1.7100
	6-2°	2.0000	0.2500	1.4000
	7-3°	1.2000	0.4200	0.3200
	8-4°	1.3300	0.3800	0.6700
B A X I M O	9-1°	1.8600	0.2700	2.6700
	10-2°	0.4900	1.0200	0.6700
	11-3°	0.2000	2.5000	0.4000
	12-4°	0.4000	1.2500	0.0400

INPUT DATA MATRIX - COLUMNS = VARIABLES, ROWS = OBSERVATIONS

MATRIZ DE SIMILARIDADE - Toda área drenada pelo  
Rio Macacú

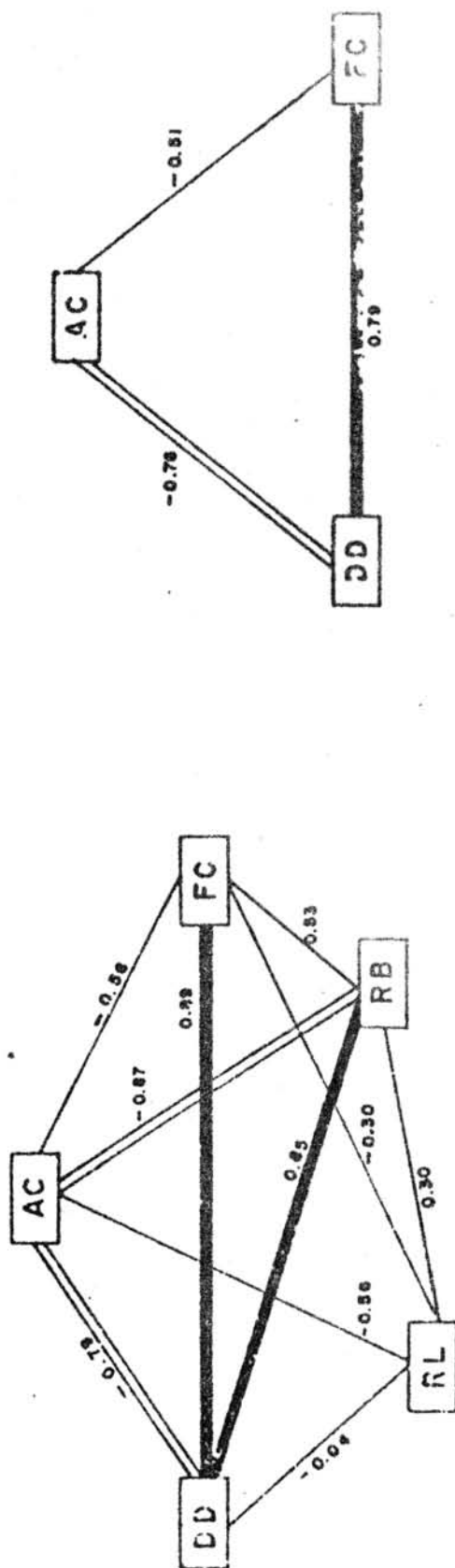
DO RIO DE JANEIRO  
ACAC ELETRON

		Dd 1	Ac 2	Fc 3
Dd	1	1.0000	-0.7633	0.7930
Ac	2	-0.7633	1.0000	-0.5157
Fc	3	0.7930	-0.5157	1.0000

SIMILARITY MATRIX

Variáveis mais representativas.

## DIAGRAMAS COMPARATIVOS



COMPORTAMENTO MORFOMÉTRICO  
DE TODA A ÁREA DRENADA PELO  
RIO MACACÚ.

COMPORTAMENTO MORFOMÉTRICO  
DO ALTO MACACÚ.

## CONCLUSÕES

O presente trabalho estabelece uma metodologia de análise dos parâmetros morfométricos mensurados numa bacia de drenagem. Mostra, ainda, o confronto morfométrico entre as diferentes sub-bacias que compõem uma bacia de drenagem. Aqui, a análise morfométrica das grandes unidades geomorfológicas ou ambientais, partiu da análise preliminar de suas respectivas sub-bacias.

O estudo de correlações mostrou consistência na identificação do comportamento morfométrico, seja nas escalas onde se adotou a análise por sub-bacias dentro de uma mesma ordem, como para as grandes unidades geomorfológicas, que compõem a bacia de drenagem.

O comportamento morfométrico da unidade ambiental, denominada de Alto Curso, foi compatível em relação ao comportamento morfométrico referente a toda a área drenada pelo rio principal.

A abordagem quantitativa empregou técnicas estatísticas paramétricas: uni, bi e multi-variada.

A técnica classificatória uni-variada, denominada de "Algoritmo de Sturges", mostrou-se eficiente para identificação de classes de sub-bacias, permitindo inferir que a área apresentava formas heterogêneas cujas causas físicas são provavelmente diferentes.

A técnica classificatória multi-variada "Cluster Analysis" gerou um dendrograma, que possibilitou visualizar as diferenças numéricas encontradas entre as três unidades ambientais analisadas (Alto, Médio e Baixo Cursos do rio Macacú).

O coeficiente de correlação de Pearson já é uma técnica estatística consagrada no estudo de morfometria fluvial. O seu emprego mostrou-se, aqui, também consistente, quando aplicado a escalas maiores, por conseguinte, fornecendo informações mais confiáveis.

A escala base adotada para a coleta de dados foi a de 1:50.000. Mesmo considerando este nível de detalhe, deixou-se de incluir, pelo critério da aleatoriedade, sete bacias de primeira ordem, três bacias de segunda ordem e uma de terceira ordem, o que naturalmente, poderia embutir um grau residual de 5,10 e 16% nas respectivas inferências. No entanto, a nosso ver, este fato não compromete, em hipótese alguma, o objetivo básico deste trabalho que, em sua essência, está voltado para o estabelecimento de uma metodologia de análise dos parâmetros morfométricos.

A validade deste estudo está relacionada aos objetivos da análise de bacia de drenagem do rio Macacú. Esta metodologia poderá ser aplicada a outras bacias de drenagem. Este enfoque destina-se, essencialmente, à análise entre bacias, o que não foi objetivo do presente trabalho. Este seria um enfoque para estudos comparativos.

BIBLIOGRAFIA

- ABLER, R., ADAMS, J.S. & GOULD, P. - Spatial Organization the Geographer's view of the world. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1971, 587 pp.
- ARGENTO, M.S.F. - O Pantanal Matogrossense - Uma abordagem quantitativa. Intercâmbio nº 6, 1983, 56 pp.
- BERRY, B.J.L. - A note concerning methods of classification. Annals of the Association of American Geographer's, Washington, 48, 1958, p. 300-305.
- BERRY, B.J.L. & MARBLE, D.F. - Spatial Analysis. A reader in statistical Geography. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1968.
- BULL, W.B. - Allometric change of landforms. Geol. Society of America Bulletin, 86(11): 1489-1498, 1975.
- CERON, A.O. & SANCHES, M.C. - Determinação de espaços mais representativos. Boletim de Geografia Teorética, Rio Claro, SP, 1(2): 61-74, 1971.
- CHORLEY, R.J. - The application of quantitative methods to geomorphology in: Chorley, R.J. & Haggett, P. (eds.) Frontiers in geographical teaching. London, Methuen, p. 147-163, 1965.
- CHRISTOFOLETTI, A., GERARDI, L.H.O. & TAVARES, A.C. - Análise comparativa e classificatória de bacias hidrográficas paulistas. Geomorfologia, São Paulo, 45, 1974.
- \_\_\_\_\_ - Geomorfologia, 2 ed. Rev. e Amp. São Paulo, Edgard Blücher, 1980, 188 pp.
- \_\_\_\_\_ - A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas. Geografia, Rio Claro. Ed. UNESP, 4(8): 23-42, 1979.
- \_\_\_\_\_ - Análise morfométrica das bacias hidrográficas. Notícias Geomorfológicas. Campinas. Ed. PUCC, 9(18): 35-64, dez/1969.
- \_\_\_\_\_ - Correlação de variáveis para o estudo comparativo de bacias hidrográficas. Boletim Geográfico. Rio de Janeiro, IBGE, 30(224): 101-6, 1971.
- \_\_\_\_\_ - O canal fluvial. São Paulo, Edgard Blücher (Série Geomorfologia Fluvial, 1), 1981.
- \_\_\_\_\_ - O fenômeno morfogenético no município de Campinas. Notícias Geomorfológicas, 81(6): 3-97, 1968.

- CHORLEY, R.J. - Spatial analysis in Geomorphology. In: Ed. Spatial analysis in Geomorphology. London, Methuen, 323 p., part I, item 1, p. 3-16, 1972.
- \_\_\_\_\_ - The drainage basis as the fundamental geomorphic unit in: Water, earth and man. London, Methuen, 588 pp., cap. 2, p. 77-110, 1969.
- CHORLEY, R.J & KENNEDEY, B.A. - Physical Geography. London, Prentice-Hall, 370 pp., 1971.
- COLE, J.P. & KING, C.A.M. - Quantitative Geography. London, J. Willey, 1968. IBGE, 120 pp., 1972.
- COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.K. - Geomorphology in Environmental Management An Introduction. London, Oxford, 413 pp., 1974.
- COPCEY, W.W. & LOHNES, P.R. - Multivariate Data Analysis. J. Willey & Sons, New York, 364 pp., 1971.
- CULBERTSON, J.K. & DAWDY, D.R. - A study of fluvial characteristics and hydraulic variables, middle Rio Grande. N. Mexico U.S. Geol. Survey Water - Supply paper, 1498-B, 74 pp., 1964.
- CUNHA, S.B. - Ambientes e características hidrográficas da bacia do Alto Rio Grande. Tese de Mestrado, UFRJ, 130 pp., 1978.
- DAVIS, J.C. - Statistics and data analysis in geology. Wiley, New York, 550 pp., 1973.
- EBDON, D. - Statistics in geography. A practical approach. Oxford Basil Blackwell, 1977.
- EVANS, J.S. - The selection of class intervals. Transaction. The Institute of British Geographer's, New Series, 2-98-124, 1977.
- FISHER, R.A. - Statistical methods for research workers. 14 ed. N.Y., 1970.
- GERARDI, L.H. de O. & SILVA, C.N. - Quantificação em geografia. DIFEL, 160 pp., 1981.
- GREGORY, S. - Statistical methods and the geographer. 4 ed. London, Longmans, 1978.
- HANWELL, J.D. & NEWSON, M.D. - Techniques in physical geography. Basingstoke, Macmillan, 1973.
- HOEL, P.G. - Estatística elementar. Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, 1969.



- JOHNSTON, R.J. - Choice in classification: the subjectivity of objective methods. *Annals of the Association of American Geographers*. Washington, 58(3): 575-585, 1958.
- JOHNSTON, R.J. - Classification in geography - Norwich - Geo abstracts 1976. Concepts and techniques in modern geography, 6.
- KING, L.J. ; Statistical analysis in geography. Englewood cliffs N.J. Prentice Hall, 1969.
- IRIONDO, M.H. - Geomorfologia quantitativa de las cabeceras del rio Carcarañã, Buenos Aires, S. Ed. Separata de Actas del Quinto Congresso Geológico Argentino, Buenos Aires (5): 139-147, 1973.
- KRUMBEIN, W.C. and GRAYBILL, F.A. -, An introduction to statistical Models in Geology. McGraw-Hill Book Company, 475 pp., 1965.
- LEOPOLD, L.D. et alii - Fluvial Processes in Geomorphology. San Francisco Feeman, 522 pp., 1964.
- MATHER, P.M. - Computational Methods of multivariate analysis in physical geography. London, John Wiley & Sons, 532 pp., 1976.
- MCGULLAGH, P.S. & HAMMOND, R. - Quantitative Techniques in Geography. An Introduction, Oxford, 318 pp., 1975.
- PARKS, J.M. - Cluster analysis applied to multivariate geologic problems *Journal of Geology*, Chicago, 74(5), par. 2: 703-715, 1966.
- PEARSON, E.S. & HARTLEY, H.O. - Biometrika tables for statisticians. Cambridge. The Biometrika Trustees at the University Press, v.1, 1970.
- PENTEADO, M.M. - Fundamentos de Geomorfologia, Fundação IBGE, Publicação Série D, nº 3, 158 pp., 1974.
- SILVA, B.C. Nentwig - Métodos quantitativos aplicados em geografia: uma introdução. *Geografia*, Rio Claro, SP, 3(6): 33-73, 1978.
- SPIEGEL, M.R. - Estatística, Rio de Janeiro, McGraw-Hill do Brasil, 1979.
- SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. - Statistical Methods. The Iowa Univ. Press, 1967.
- TAYLOR, P.J. - Quantitative methods in geography. An introduction to spatial analysis, Boston, 1977.
- THEAKSTONE, W.H. & HARRISON, C. - The analysis of geographical data, London, 1970.
- TRICART, J. - A geomorfologia nos estudos integrados de ordenação do meio natural. *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro, 34(251): 15-42, 1976.
- XAVIER DA SILVA, J. e FERNANDES PEREIRA, M.L. - Ambientes e Sistemas. UFRJ, 99 pp., 1980.