

ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NO MUNICÍPIO DE BOTUCATU-SP.

Bruna Soares Xavier de Barros; Zacarias Xavier de Barros; Ronaldo Alberto Pollo; Flávia Meinicke Nascimento; Sergio Campos.

Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, zacariasxb@fca.unesp.br

1 RESUMO

As imagens aerofotogramétricas de uma região registram os vários aspectos da paisagem, destacando a cobertura vegetal, a rede de drenagem e principalmente o relevo do terreno conjunto que caracterizam unidades morfométricas denominadas bacias hidrográficas. Neste trabalho aplicaram-se técnicas fotointerpretativas e estatística multivariada a variáveis do relevo, medidas em bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação pertencentes à bacia do rio Tiête no município de Botucatu-SP, com o objetivo de agrupar bacias segundo graus de similaridade, bem como inferir sobre a representatividade da distribuição espacial dos agrupamentos em relação ao Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, da Embrapa de 1999. Foram utilizadas fotografias aéreas verticais, escala nominal aproximada 1:30000, (2005), cartas planialtimétricas escala 1:50000 e Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Foram estudadas 06 bacias hidrográficas de 3ª ordem de ramificação, situada na região fisiográfica denominada frente da “cuesta” abrangendo as unidades de solo Neossolos Litólicos (RL) e Latossolos Vermelhos distrófico (LVdf), sendo esta última predominante na área de estudo. O conjunto de variáveis de relevo mostrou-se eficiente no agrupamento das bacias conforme as unidades de solos ocorrentes, concordando com as unidades identificadas no Mapa Pedológico.

Palavras-chave: análise multivariada, relevo, bacias hidrográficas, solo.

2 SUMMARY

Aerophotogrametric images of a region record the various aspects of the landscape, highlighting vegetation, drainage network and topography of the land especially featuring morphometric units called watersheds. In the present study techniques of photographic interpretation and multivariate statistics were applied to the relief variables, measured in third order branch watersheds which belong to Tiete River basin in Botucatu-SP. This study aimed at grouping basins according to degrees of similarity, as well as inferring about the representativeness of the cluster spatial distribution over the São Paulo State soil map, EMBRAPA, 1999. Vertical aerial photographs, nominal scale of approximately 1:30000, (2005), chart of 1:50000 scale and São Paulo State soil map, were used. Six third order branch watersheds were studied, located in the physiographic region called the front "cuesta" covering units Soil Entisols (RL) and dystrophic Red Oxisols (RH), the latter being predominant in the study area. The set of relief variables was efficient in grouping basins regarding occurring soil units, agreeing with the units identified on Soil Map.

Keywords: multivariate analysis, relief, watershed, soil.

3 INTRODUÇÃO

A análise dos atributos do relevo é muito importante na caracterização de áreas para estudos de solos, erosão, mecanização agrícola, construção de barragens, implantação de vias de acesso, eletrificação rural e na escolha de áreas para diferentes tipos de cultivo.

O relevo, que naturalmente pode ser resultado da ação das águas sobre a superfície da terra, reflete as características internas do solo merecendo especial atenção de pedólogos e geomorfólogos que buscam informações através de relações entre esses parâmetros e os solos.

A forma atual do relevo em uma determinada região representa um componente importante, uma vez que condiciona as drenagens internas e externas do solo (Ranzani, 1969). Ainda segundo o autor a manifestação do relevo através da superfície pode ser identificada pelas diferenças de altitudes.

Segundo Strahler (1952), a maneira mais expressiva de analisar o relevo é a construção de curvas hipsométricas cuja finalidade é representar a distribuição do material existente desde as partes mais baixas até as mais altas, em relação a uma unidade geométrica de referência, ou seja, uma bacia hidrográfica.

A integral hipsométrica expressa o material existente antes do início do processo de erosão, enquanto que a integral volumétrica representa o volume de terra ainda existente. A diferença entre as integrais representa o material que foi retirado pela erosão, tomando-se como base o rio de 3ª ordem de ramificação (Vieira, 1978).

A análise de agrupamento não pressupõe a existência, em princípio, de grupos de elementos semelhantes. Os processos desta metodologia trabalham com um conjunto de variáveis separando-as em agrupamentos de unidades caracterizadas por diversos parâmetros reunindo-os em grupos homogêneos entre os elementos (Curi, 1982).

Segundo Sneath e Sokal (1973), a análise de agrupamento pode ser complementada com outras técnicas multivariadas dentre as quais a análise de componentes principais, cujo objetivo é tentar explicar a estrutura de variâncias e covariâncias das variáveis construindo, mediante processo matemático, um conjunto menor de combinações lineares das variáveis originais que preserve a maior parte da informação fornecida pelas variáveis originais.

Segundo Bueno (2010), a aplicação de técnicas de análise multivariada de componentes principais permitiram a classificação de áreas das unidades Nitossolos e Latossolos, em solo irrigado por pivô central, sendo que 98% dos parâmetros analisados encontraram correspondência com a análise de agrupamento.

Segundo Campos (2010), a análise multivariada não mostrou-se eficiente na discriminação de unidades de solo quando utilizou-se variáveis dimensionais da rede de drenagem estudadas em bacias de terceira ordem de ramificação.

O conhecimento das características morfométricas dos elementos da paisagem de uma região constitui importante subsídio para a organização e o planejamento espacial.

As análises morfométricas em geomorfologia tem como finalidade medir e expressar as formas do relevo por meio da linguagem matemática. O princípio dimensional é utilizado na morfologia para quantificar as dimensões das formas com a finalidade de se obterem agrupamentos caracterizados pela semelhança interna de seus componentes. O objetivo principal deste trabalho é o agrupamento de bacias hidrográficas segundo graus de similaridades, por meio de análise multivariada em variáveis de relevo, e verificar se os grupos formados refletem, isoladamente, coerência com o Mapa Pedológico elaborado em 1999.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Serviram de base para este estudo bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação que compõem a grande drenagem do rio Tiête no município de Botucatu-SP, localizada na frente da “cuesta”, situada entre as coordenadas 22° 33’ a 23° 04’ de Latitude S e 48° 14’ a 48° 32’ de Longitude W Gr. A região estudada, segundo Mapa Pedológico do Estado de São Paulo de Solo (Embrapa de 1999), apresenta as unidades de solo Latossolos Vermelhos distrófico (LVdf) e Neossolos Litólicos (RL), sendo a última predominante na área.

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais para a melhor localização da área e apoio planimétrico, bem como, Carta do Brasil, escala 1:50000 com linhas de contorno equidistantes de 20 metros, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, edição 1969.

Os atributos do relevo foram analisados considerando variáveis levando em consideração a Altitude Média (HM), Amplitude Altimétrica (H), Razão de Relevo (Rr), Declividade Média da Bacia (I%), Integral Hipsométrica (IH), Integral Volumétrica (IV), Desenvolvimento da Erosão (DE), Altura Média da IH (h/IH) e Altura Média da IV (h/IV) das seis bacias consideradas.

A análise de agrupamentos teve como unidade operacional bacias de 3ª ordem, de onde foi determinado o conjunto de nove variáveis do relevo, usando como coeficiente de semelhança a Distância Euclidiana Média entre pares de bacias (Sneath e Sokal, 1973).

Foi utilizada a estratégia “*single linkage*”, onde os agrupamentos obtidos são seqüenciais, aglomerativos, hierárquico, não superpostos que permitiram a confecção do fenograma. Também se aplicou a Análise dos Componentes Principais para verificar a importância de cada variável no processo classificatório e proporcionar um gráfico bidimensional possibilitando a verificação e ordenação das bacias com prováveis agrupamentos.

Conforme Romesburg (1984), a análise de agrupamentos é um termo genérico empregado para designar uma série de métodos matemáticos que podem ser usados para definir quais elementos, dentro de um dado conjunto, são similares, ou seja, para fazer classificações.

De acordo com os agrupamentos estabelecidos pela análise das variáveis de relevo, montou-se o fenograma correspondente e o gráfico bidimensional dos componentes principais podendo assim verificar as possíveis correspondências com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A conformação do relevo constitui um importante componente do sistema natural que os solos de cada área representam, Ranzani (1965). Comporta duas de suas três dimensões: a superfície de exposição e a forma, o que permite ao relevo condicionar as drenagens internas e externas do corpo do solo. Associando-se aos fatores climáticos e pedológicos, o relevo comanda a capacidade de infiltração, além de determinar o tipo de escoamento superficial.

A Figura 1 apresenta as seis bacias consideradas para o estudo com seus valores de altitudes e suas linhas de contornos, mostrando regiões com declividades mais acentuadas e outras mais suaves. Vale salientar que todas as bacias envolvidas no presente estudo possui terceira ordem de ramificação, sendo que as Bacias 1 e 2 apresentam em torno de 30% de sua área na unidade de solo (RL), o restante na unidade (LVdf). As Bacias 3, 4, 5 e 6 estão

totalmente inseridas na unidade de solo Neossolos Litólicos (RL), com declividade média variando de 17,80 a 24,26%.

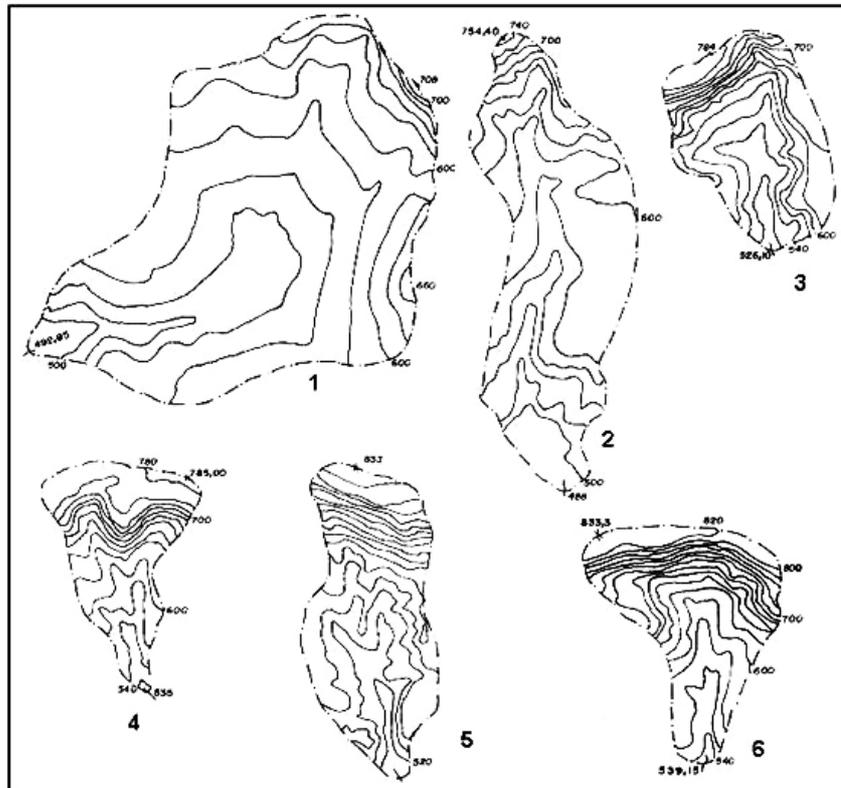


Figura 1. Representação das seis bacias hidrográficas estudadas e suas linhas de contornos.

Foram consideradas nove variáveis que, segundo a literatura são utilizadas em estudos analíticos de relevo, as quais estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis do relevo determinadas nas seis bacias hidrográficas de 3ª ordem de ramificação estudadas.

<i>BH</i>	<i>Alt. média (Hm)m</i>	<i>Ampl. Alt. (H)m</i>	<i>Razão de rel. (Rr)</i>	<i>Decl. média (I%)</i>	<i>Integ. hipsó. (IH)</i>	<i>Integ. Vol. (IV)</i>	<i>Des. erosão (DE)</i>	<i>Alt. méd.IH h/IH m</i>	<i>Alt. méd.IH h/IH m</i>
01	600,43	215,15	0,024	7,66	0,372	0,230	0,142	80,04	49,48
02	621,20	266,40	0,062	10,39	0,353	0,221	0,132	94,04	58,87
03	655,05	257,90	0,115	24,26	0,356	0,270	0,086	91,81	69,63
04	660,00	250,00	0,143	18,73	0,549	0,368	0,181	137,25	92,00
05	673,50	319,00	0,114	18,22	0,334	0,305	0,029	106,55	97,29
06	686,23	294,15	0,115	17,80	0,426	0,338	0,088	125,31	99,42

A altitude média (Hm), (Tabela1) expressa uma variação de valores situados entre 600,43 a 686,23 metros (cerca de 86 m de diferença), juntamente com os valores de amplitude altimétrica, variando de 215,15 a 319,00 m demonstra que uma mesma bacia pode estar ocorrendo em unidades diferentes de solo, fato constatado para as bacias 1 e 2, ocorrência essa confirmada quando verificamos os valores de razão de relevo dessas bacias (Tabela 1), sendo de 0,024 para a bacia 1 e 0,062 para a bacia 2 e os demais valores de (Rr) variando de

0,115 a 0,143 refletem que as bacias podem estar ocorrendo em pelo menos duas unidades de solos diferentes.

Observando os valores de declividade média (Tabela 1), é possível constatar que estes variam de 7,66 a 18,73% estas variações demonstram a importância de se determinar a declividade média porcentual sempre que o relevo local (bacia) não se apresentar definido por rampas uniformes. Afirmativa que pode ser constatada pelo exame da Figura 1, onde estão representadas as seis bacias e suas respectivas linhas de contornos devidamente cotadas.

Os valores de integrais (Tabela 1) e a similaridades das curvas hipsométricas no diagrama (Figura 2) permitem visualizar diferenciações no estágio de relevo das bacias 1, 2, 3, 5 e 6 que associados aos menores valores e as curvas situadas na parte inferior do digrama expressam um estágio de relevo em evolução da maturidade para a velhice. Esses valores de integrais, segundo Carvalho (1981) ocorrem em solos da região classificada como frente da "cuesta."

A bacia hidrográfica número 4, com valor de integral hipsométrica de 0,549 sugere ocorrência de relevo tendendo ao equilíbrio, vale salientar que esta bacia é a menor entre as demais e esta perfeitamente inserida na região fisiográfica estudada, segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.

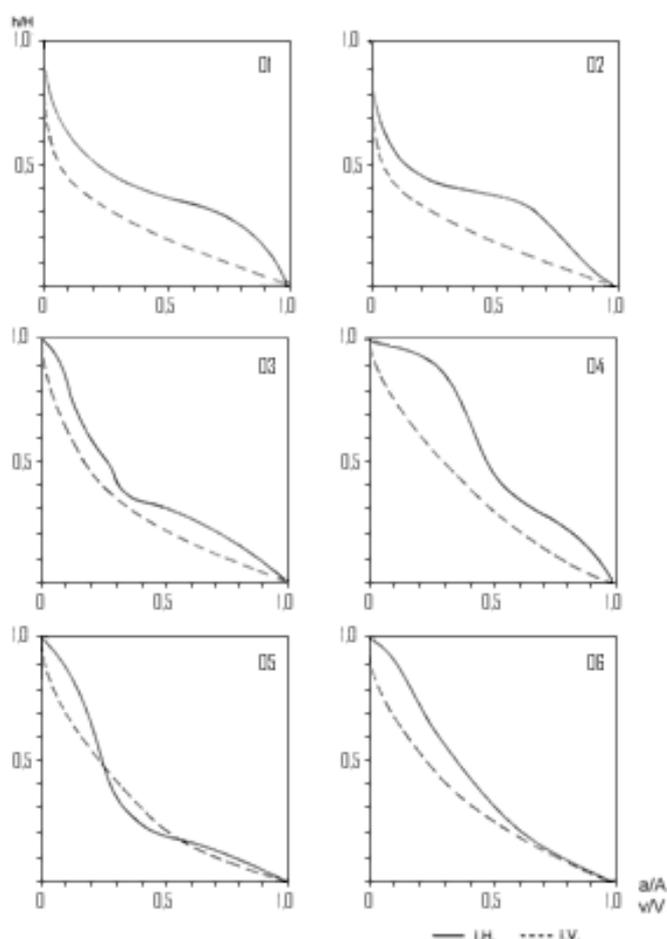


Figura 2. Integrais hipsométricas e volumétricas das bacias hidrográficas estudadas.

A variável desenvolvimento de erosão (DH) representa o quanto o solo apresenta-se jovem, tendendo ao equilíbrio ou maduro, com os valores de (DH) apresentados na Tabela 1

variando de 0,181 a 0,029, pode-se inferir que estes valores concordam com Carvalho (1981) quanto estes solos estarem situados predominantemente na frente da “cuesta.”

De acordo com Vieira (1978) as alturas médias, tanto as referentes à integral hipsométrica quanto à volumétrica, são variáveis importantes para a descrição mais completa do relevo. A altura média da Integral hipsométrica (h/ IH) assim como da Integral volumétrica (h/ IV) (Tabela 1) apresentaram valores inferiores a 150,00m e 100,00m respectivamente, considerados como intermediários, sugerindo a contribuição dessas variáveis numa possível definição de agrupamento dessas bacias em uma unidade de solo.

O fenograma ilustrativo obtido pelas variáveis do relevo por meio da Análise de Agrupamento (Figura 3) demonstra a existência de Um grupo específico de bacias (2, 3, 4, 5, 6 e 1), correspondendo segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo a unidade de solo Neossolos Litólicos, sendo que a bacia de n° 1 segundo o mesmo fenograma apresenta-se com uma Distância Euclidiana maior que as demais, sugerindo a ocorrência de mais de uma unidade de solo na mesma bacia, fato confirmado pelo Mapa Pedológico referencial.

Os resultados constatados por meio da Análise de Agrupamento (Figura 3), confirmam as afirmações a respeito da importância dos valores das variáveis de relevo encontrados pelos diferentes pesquisadores citados neste trabalho.

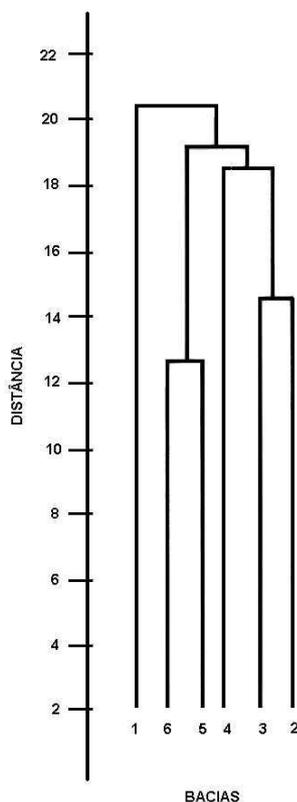


Figura 3. Fenograma das inter-relações das bacias hidrográficas, utilizando variáveis de relevo e as medidas de semelhança pela distância Euclidiana média.

A representação bidimensional do relevo, utilizando-se Análise de Componentes Principais (Tabela 2 e Figura 4) reteve cerca de 98% da informação que seria obtida se fosse possível elaborar um gráfico em nove dimensões. Além disso a análise possibilitou destacar entre as nove variáveis aquelas que mais contribuem para o agrupamento discriminação das bacias.

A Tabela 2 apresenta a classificação em ordem crescente das variáveis que mais contribuíram para a formação dos agrupamentos, os coeficientes dos dois componentes principais (Y1eY2), a porcentagem acumulada da variância total e correlação entre os componentes e finalmente as variáveis originais (valores entre parênteses).

Tabela 2. Variáveis de relevo, componentes principais e ordem de importância na construção do gráfico bidimensional.

Variáveis	1º Compon. Princ. (Y1)		2º Compon. Princ. (Y2)		Ordem de Importância
1. (Hm) m	0,871829	(0, 92)	-0,484870	(-0,30)	1º
2. (H) m	0,371705	(0, 55)	0,745270	(0, 82)	4º
3. Rr	0,000088	(0, 24)	0,000171	(0, 34)	7º
4. I(%)	0,013642	(0, 43)	0,020010	(0, 47)	5º
5. IH	0,000308	(0, 39)	-0,000079	(-0,07)	6º
6. IV	0,000160	(0, 24)	0,000036	(0, 08)	9º
7. DE	0,000142	(0, 28)	-0,000125	(-0,18)	8º
8. ^h IH m	0,273861	(0, 66)	0,377412	(0, 68)	3º
9. ^h IV m	0,162981	(0, 64)	0,258134	(0, 75)	2º
Var. total	63,21%		34,92%		
Var. acum. 98,13%					

Analisando a Tabela 2 verificamos que as quatro principais variáveis, por ordem de importância são: altitude média (Hm), altura média da integral volumétrica (^hIV), altura média da integral hipsométrica (^hIH) e amplitude altimétrica(H). Resultados que sugerem a relevância de valores relativos e absolutos de alturas para expressar a importância do relevo na caracterização de solos.

Na Figura 4, pode-se observar a localização das bacias segundo os dois componentes principais com base nas nove variáveis do relevo representadas na Tabela 1. Ainda segundo a Figura 4 constatamos que a Bacia 1 apresenta-se um pouco deslocada, com maior Distância Euclidiana, em relação às demais bacias (2, 3, 4, 5 e 6) confirmando assim a ocorrência de duas unidades de solos nesta bacia, fato constatado quando da escolha desta bacia nas fotografias aéreas e sua posterior localização no Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.



Figura 4. Ordenação das bacias utilizando os dois componentes principais com base nas nove variáveis de relevo.

A análise comparativa do resultado obtido comparadas com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo demonstra que a metodologia aplicada às variáveis de relevo permitiu obter elevada concordância do grupo formado (Figura 3) com a carta de solos referência.

6 CONCLUSÕES

O conjunto das variáveis de relevo mostrou-se eficiente para agrupar bacias, pois o resultado foi concordante com as unidades de solo classificado o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo;

As variáveis de relevo que mais contribuíram para a formação dos agrupamentos, segundo a Análise dos Componentes Principais, foram: 1º altitude média, 2º altura média da integral volumétrica, 3º altura média da integral hipsométrica e 4º amplitude altimétrica;

A análise multivariada, segundo a Distância Euclidiana Média, mostrou-se eficiente na discriminação de bacias hidrográficas para o mapeamento de unidades de solos.

7 REFERÊNCIAS

- BUENO, C.R.P.; ARRAES, C.L.; PEREIRA, G.T.; CORÁ, J.E.; CAMPOS, S. Análise multivariada na determinação do risco de erosão em solos sob irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n-1, p. 23-35, janeiro-março 2010.
- CAMPOS, S. PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F.M.; BARROS, Z.X.; RIBEIRO, F.L. Análise multivariada de microbacias em relação ao tipo de solo. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n-2, p. 208-216, abril-junho 2010.
- CARVALHO, W.A. **Relações entre relevo e solos da bacia do rio capivara – Município de Botucatu, SP**. 1981. 193f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- CURI, P.R. Análise de agrupamento: métodos seqüências, aglomerativos e hierárquicos. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v.35, n-10, p.1416-29, 1982.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Botucatu**. Folha SF- 22- R- IV-3. Rio de Janeiro, 1969. mapa. Escala 1:50000.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M, N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: FAPESP; 1999. 63p.
- RANZANI, G. **Manual de levantamento de solo**. São Paulo, EDUSP, 1965. 112p.
- RANZANI, G. **Manual de levantamento de solos**. 2ª ed. Piracicaba, EDUSP, 1969. 167p.
- ROMESBURG, H.C. **Cluster analysis for researchers**. Califórnia, Lifetime Learning Publications, 1984. 334p.

STRAHLER, A.N. **Hypsométric analisys of erosional topography**. Bull. Geol. Soc. Am., Colorado, v. 63, p. 1117-41,1952.

SNEATH, P.H.A. & SOKAL, R.R. **Numeral taxanomy**. San Francisco, W.H.Freeman,1973. 573p.

VIEIRA, N.M. **Critérios morfológicos das voçorocas de Franca-SP**. 1978. 255f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz,” Universidade de São Paulo.