

Discriminação de Solos por Interpretação Fotográfica da Rede de Drenagem

Photographic Interpretation of the Drainage Network for Soils Discrimination

SILVA, F. B.¹ e CARVALHO, W. A.²

¹ Mestre em Conservação e Manejo de Recursos - CEA/UNESP - (18) 221-2005.

e-mail: fbarcaro@bol.com.br

² Depto. de Recursos Naturais - FCA/UNESP - Botucatu. CP: 237 - CEP: 18603-970.

e-mail: tosin@laser.com.br

RESUMO

Foi estudada, com o auxílio de fotografias aéreas, a rede de drenagem de uma associação de solos provenientes de mesmo material de origem e com horizonte B textural, da Bacia do Córrego da Onça no Município de Presidente Prudente–SP, para a discriminação dos solos. A análise foi feita em 35 bacias hidrográficas de 3ª ordem de ramificação, que foram selecionadas pelo teste de semelhança geométrica e análise dimensional, permitindo formar 4 grupos homogêneos de bacias (Áreas Edáficas). A análise da rede drenagem foi feita quanto à composição (número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios) e ao padrão (densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura e classe de textura topográfica). Foram ajustadas equações de regressão monologarítmica para os valores referentes à composição da rede de drenagem. Para complementar as análises foi aplicado um questionário a respeito do uso e manejo dos solos. Concluiu-se que:- O teste de semelhança geométrica e análise dimensional discriminou os solos geneticamente semelhantes e de mesmo material de origem e com diferenças de profundidade, textura do horizonte B e relevo;- A composição da rede de drenagem: número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios discriminaram as Áreas Edáficas, indicando um comportamento hidrológico diferenciado;- A composição e as características do padrão de drenagem, dos

solos geneticamente semelhantes variaram com a profundidade do solo e com o relevo;- O ajuste das equações propostas para número, comprimento total e médio de segmentos de rios, indica que a rede de drenagem obedece as Leis Hidrofísicas de Horton e Strahler e que seu desenvolvimento se faz em equilíbrio com o ambiente, devido a adequação do uso e manejo do solo com os elementos do ambiente;- O uso do solo com pastagem é predominante nas áreas, com 67%, agricultura com 26,8% e mata nativa e/ou reflorestamento com 56%.

Palavras-chave: Fotointerpretação, rede de drenagem, bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação, solos.

ABSTRACT

Photointerpretation of the drainage network was used to discriminate soils developed from the same parent material and with an argilic B horizon, of the Basin Onça, in Presidente Prudente county - São Paulo State. The drainage network analysis was carried on 35 third order of ramification watersheds, from which were selected 4 watersheds groups (Areas) by geometric similarities and dimensional analysis. The drainage network was made on the following parameters of the composition: number, total length and mean length of rivers segments, and parameters of the drainage pattern: drainage density, frequency of rivers, texture ratio and topographic textural class. For statistical analysis data were added the ones of directed questionnaire related to the use and management of the soils. The main conclusions are the following: -The geometric similarities and dimensional analysis were able to discriminate genetically similar soils formed from the same parent material, but with different depth, different texture of the argilic B horizon and in different types of relief; -The composition of the drainage network: number, total length and mean length of the rivers segments discriminate the soils of the Areas, showing that they have different hydrophysical behaviour; -The genetically similar soils composition and characteristics of the drainage pattern vary with depth and relief; -The adjustment of the number, total length and mean length of the rivers segments equations showed that the drainage network follows the hydrophysical and Horton & Strahler laws and that their development takes place with the equilibrium with environment, is a consequence of the adequate use and management of the soil in accordance with the ambiental elements; - Soil use with pasture predominates in the area (67,6%), followed by agriculture (26,8%) and forest or reforestation (5,6%).

Keywords: Photointerpretation, drainage network, third order ramification watersheds, soils.

INTRODUÇÃO

O ambiente é constituído de um conjunto de elementos que tendem para um estado de equilíbrio, sendo que, a alteração em qualquer um desses elementos reflete-se em todo o conjunto, denunciando sua fragilidade.

O solo é o meio natural para o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais na superfície da terra e, assim, constitui um elemento do ambiente de maior importância, sendo que o entendimento de como interage no ecossistema, contribui para a solução de muitos problemas ambientais.

Na região tropical, sob uso agrícola, a erosão hídrica é o fator de maior contribuição para a degradação do solo e da água. Por outro lado, o uso do solo com pastagem e manejo adequado, reduz e controla a erosão dificultando a erosão laminar e em sulcos que em sua evolução forma canais de drenagem.

Dentre os elementos da paisagem utilizados para discriminar solos e áreas edáficas, pela soma de informações que pode fornecer é a rede de drenagem. A vasta bibliografia existente sobre o assunto mostra a relação entre a composição e as características do padrão de drenagem, com a natureza e propriedades dos solos, através da relação entre infiltração e deflúvio. Os autores dão ênfase às condições do solo, reconhecendo como fatores importantes no desenvolvimento de sistemas hidrográficos, a capacidade de infiltração do solo e sua resistência à erosão; sendo que o grau de manifestação destes atributos varia de uma unidade de solo para a outra, em função do conjunto de propriedades que caracteriza cada unidade. Todavia, quando o solo é raso a rede de drenagem é função da capacidade de infiltração e da resistência da rocha à erosão.

HORTON (1945) lançou a base quantitativa da interpretação de bacias hidrográficas e suas redes de drenagem. Segundo uma aproximação hidrofísica, em que considerou as relações entre infiltração e deflúvio e os processos de erosão pelas águas correntes, esse autor estabeleceu duas leis fundamentais, as quais relacionam o número e o comprimento de rios às diversas ordens de ramificação da rede hidrográfica.

A Lei dos números de rios de HORTON (1945) expressa a relação entre o número de rios de cada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, da qual a razão de ramificação é a base. Analogamente, a lei dos comprimentos de rios do mesmo autor, expressa a relação entre os comprimentos médios de rios de cada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica direta na qual o primeiro termo é o comprimento médio dos rios de 1ª ordem e cuja razão é a razão de comprimento médio.

A lei dos comprimentos totais de rios de STRAHLER (1957), semelhante à lei dos números de rios, expressa a relação entre o comprimento total de rios de cada ordem e a ordem de ramificação, em termos de uma série geométrica inversa, da qual a

razão de comprimento total é a base.

Com base nas Leis Hidrofísicas de Horton, nas quais são relacionados o número e o comprimento médio de rios às ordens de ramificação e da Lei de Strahler, que relaciona o comprimento total de rios às ordens de ramificação, MAXWELL (1955), STRAHLER (1957), FRANÇA (1968), VASQUES FILHO (1972) propuseram o ajuste, através de equações, desses parâmetros com as ordens de ramificação para facilitar interpretações, comparações ou diferenciação de solos.

A análise da composição da rede de drenagem permite avaliar, através das Leis Hidrofísicas, o efeito de controles geológicos (litológico e/ou estrutural) da rede de drenagem e de desequilíbrio dos elementos do ambiente, que causa a erosão laminar e em sulcos, pois estes evoluem formando canais de drenagem que atingindo o sistema hidrográfico desorganiza a sua hierarquização.

Segundo CARVALHO (1977) quando os comprimentos totais de segmentos de rios das ordens de ramificação de bacias hidrográficas de terceira ordem não seguem a Lei de Strahler, não se ajusta a equação proposta por França sugerindo um controle litológico e/ou estrutural da rede de drenagem.

AZEVEDO & CARVALHO (1999), estudando a rede de drenagem de bacias de terceira ordem de ramificação representativas de Solos Podzólicos e Latossolos de textura média, provenientes de produtos de alteração de arenito e sob uso com pastagem há mais de vinte anos, verificaram que as redes de drenagem das áreas de ocorrência desses solos obedecem as Leis Hidrofísicas, devido aos solos serem profundos e haver adequação do uso e manejo com elementos do ambiente.

O teste de semelhança geométrica e análise dimensional através de medidas de tamanho e de parâmetros geométricos lineares (STRAHLER, 1957), permite agrupar bacias hidrográficas de maior similaridade geométrica. Esse método tem sido utilizado como auxiliar no processo de amostragem de bacias hidrográficas que tenham homogeneidade edafológica, comportamento hidrológico e características morfométricas semelhantes.

CARVALHO et al. (2000) aplicando o teste de STRAHLER (1957) em bacias hidrográficas de 3ª ordem de ramificação como critério para cartografar solos, constataram que as bacias contidas integralmente numa única classe de solo apresentavam maior similaridade geométrica.

LUEDER (1959) afirmou que uma rede de drenagem bem desenvolvida implica na existência de materiais pouco permeáveis, enquanto que uma escassa rede de drenagem superficial é indicativa de alta infiltração e boa permeabilidade, o que foi confirmado por FRANÇA (1968) e vários outros autores.

Para quantificar o grau de desenvolvimento de uma rede de drenagem, HORTON (1945) propôs duas relações denominadas de densidade de drenagem e frequência de rios. Segundo FRANÇA (1968) esses índices podem variar em conseqüência da natureza e propriedades dos solos.

A rede de drenagem tem sido estudada pela maioria dos autores através de pequenas bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação, ou de amostras circulares de 10 km², ambas comprovadamente adequadas para o estudo de solos. Para a análise da rede de drenagem os dados têm sido extraídos de fotografias aéreas decorrentes da escala e da possibilidade de visão tridimensional, que acrescenta à interpretação detalhes adicionais de interesse da paisagem.

Neste trabalho foram estudadas as características da rede de drenagem de uma associação de solos com horizonte B textural (Argissolos), da Bacia do Córrego da Onça, Município de Presidente Prudente-SP, visando os seguintes objetivos: 1) verificar a aplicabilidade do teste de semelhança geométrica e análise dimensional para agrupar bacias hidrográficas com homogeneidade edafológica; 2) verificar a significância da composição da rede de drenagem: número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios e do padrão de drenagem: densidade de drenagem, frequência de rios, razão de textura, razão de textura média e classe de textura topográfica, para discriminar solos; 3) verificar o uso e manejo do solo através de observações de campo e entrevistas com os proprietários, arrendatários e/ou empregados permanentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi estudada a Bacia do Córrego da Onça com uma área de 105,378 km², circunscrita entre as seguintes coordenadas geográficas: 22° 07' a 22° 48' de latitude Sul e 51°17' a 51°26' de longitude Oeste Grw. A Bacia pertence à província geomorfológica Planalto Ocidental Paulista, e seus terrenos estão assentados sobre o Grupo Bauru - Formação Adamantina, do Cretáceo Superior, e as baixadas planas e geralmente úmidas constituem deposições do Cenozóico (IPT, 1981).

O clima segundo a classificação climática de Köeppen é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, onde a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio é superior a 18°C. A precipitação e a temperatura média anual são respectivamente de 1,292 mm e 22,9°C.

Segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, escala 1: 500.000, OLIVEIRA et al. (1999), os solos da Bacia foram mapeados como uma associação de solos reconhecida como unidade-de-mapeamento PVA5 - Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos textura arenosa/média relevo ondulado e suave ondulado +

argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos pouco profundos textura arenosa/argilosa relevo ondulado ambos abrupcos, a moderado.

Foram utilizadas fotografias aéreas verticais pancromáticas, branco e preto, provenientes da cobertura aerofotogramétrica de 1995, na escala nominal aproximada de 1:25.000.

Para a localização, verificação do relevo, da rede de drenagem e como mapa base para o trabalho de campo, foram utilizadas folhas da Carta do Brasil, na escala 1:50.000 com curvas de nível de 20 em 20 metros, editadas em 1974 pelo IBGE.

Para as observações estereoscópicas dos pares de fotografias aéreas foi utilizado um estereoscópio de espelhos Wild, modelo ST4. Para as medições de perímetro e comprimentos de segmentos de rios foi usado um curvímetro, marca Derby; para medir distâncias, uma escala triangular e para obter as áreas das bacias um planímetro polar, marca OTT.

O mapa básico da rede de drenagem da Bacia do Córrego da Onça foi obtido segundo procedimento descrito por COELHO (1972), utilizando-se a área útil das fotografias aéreas. O traçado da rede de drenagem foi decalcado com auxílio da estereoscopia, considerando-se cursos d'água tanto permanentes como temporários, claramente visíveis na imagem fotográfica e desde que fizessem parte funcional do sistema de drenagem, conforme proposição de STRAHLER (1957), LUEDER (1959) e FRANÇA (1968) e delimitadas todas as bacias de 3ª ordem de ramificação, segundo o sistema de STRAHLER (1957), sendo obtidas 35 bacias.

Para agrupar bacias com características morfométricas semelhantes e homogeneidade edafológica, foi aplicado o teste de semelhança geométrica e análise dimensional proposto por STRAHLER (1957) e modificado por FRANÇA (1968), para as 35 bacias hidrográficas., sendo analisados os seguintes parâmetros dimensionais: maior comprimento (C): medido com escala, acompanhando aproximadamente a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas; maior largura (L): medido com escala, corresponde a maior largura que corta transversalmente o vale principal; comprimento do rio principal (CP): medido com curvímetro, acompanhando as sinuosidades do rio principal, da foz até a nascente, e cujo percurso foi determinado de acordo com HORTON (1945) por meio das ordens de rios e, em casos de dúvida, pela aplicação das duas regras dadas por esse autor; comprimento total da rede (CR): medido com curvímetro, corresponde ao rio principal e seus afluentes; perímetro (P): medido com curvímetro, corresponde ao comprimento da linha do divisor de águas que circunda a bacia e área (A): medida com planímetro, corresponde a área circunscrita pela linha do divisor de águas que delimita a bacia.

O teste de semelhança geométrica propõe que se compare as bacias,

relacionando-as duas a duas através de todos os parâmetros, obtendo-se para os valores lineares uma média aritmética que, elevada à sua razão quadrática, pode ser comparada com a respectiva relação de área. Sabendo-se que, quanto mais semelhantes forem, menores deverão resultar as diferenças de razões quadráticas entre as bacias relacionadas, foi possível agrupa-las. Para o agrupamento das bacias considerou-se a diferença máxima de razões quadráticas igual a 0,546. Esse valor proporciona um rigor no agrupamento, uma vez que na bibliografia esse valor varia entre 0,7 e 1,0. Assim, foram obtidos 4 grupos de bacias, considerados como Áreas Edáficas, numeradas em algarismos romanos de I a IV.

O número de combinações pode ser calculado pela fórmula: $C_m^p = \frac{m!}{p!(m-p)!}$ sendo C o número de combinações; p a ordem (bacias tomadas duas a duas) e m o número de bacias combinadas. Assim, para $p=2$ e $m=35$ foram obtidas 595 combinações.

Foi estudada a composição da rede de drenagem: número (Nw), comprimento total (Lw) e comprimento médio de segmentos de rios ($Lmw = Lw/Nw$) em cada ordem de ramificação (w).

O padrão de drenagem foi estudado através dos parâmetros: densidade de drenagem (Dd), calculada através da relação entre o comprimento total de rios da bacia (Lt) e sua respectiva área (A) e expressa em km de rios/km² (HORTON, 1945); frequência de rios (Fr), calculada através da relação entre o número total de rios da bacia (Nt) e sua respectiva área (A) e expressa em número de rios/km² (HORTON, 1945); razão de textura (T), calculada através da relação entre o número total de rios da bacia (Nt) e seu respectivo perímetro (P) e expressa em número de rios/ km (SMITH, 1950; FRANÇA, 1968); razão de textura média (Tm), constituiu a média ponderada da razão de textura (T), em relação à área das bacias (SMITH, 1950; FRANÇA, 1968) e textura topográfica, segundo SMITH (1950) e FRANÇA (1968), baseada nos valores de razão de textura média, assim: Tm abaixo de 2,5; entre 2,5 e 6,2 e acima de 6,2 as classes de textura topográfica, respectivamente, são as seguintes: grosseira, média e fina.

A análise estatística dos resultados constou de : ajuste de equações de regressão monologarítmica ($\log y = a + bx$) para a composição da rede de drenagem, assumindo "y" os valores de número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios e "x" as ordens de ramificação. O antilog de "b" das equações foi obtido por expressar os valores médios de razão de ramificação (Rb), razão de comprimento total (Rlw) e razão de comprimento médio (Rl).

Os resultados da análise estatística foram obtidos através de programas do "Statistical Analysis System" - SAS versão 6.12 (SAS, 1996).

Para verificar a interação da rede de drenagem e do relevo com o uso e manejo do solo foi aplicado um questionário com 11 perguntas preferencialmente ao

produtor (proprietário, arrendatário) e/ou pessoal ocupado (empregado permanente) localizados dentro das bacias hidrográficas de 3ª ordem de ramificação correspondentes as áreas estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros dimensionais, maior comprimento (C), maior largura (L), comprimento do rio principal (CP), comprimento total da rede (CR), perímetro (P) e área (A) das 35 bacias hidrográficas de 3ª ordem de ramificação, estão contidos na Tabela 1 onde se pode verificar que os parâmetros mostram variação de forma e de tamanho entre as bacias representativas de uma associação de solos: ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos textura arenosa/média relevo ondulado e suave ondulado + ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos pouco profundos textura arenosa/argilosa relevo ondulado ambos abruptos A moderado (OLIVEIRA et al., 1999).

A aplicação do teste de semelhança geométrica e análise dimensional (STRAHLER 1957) aos parâmetros dimensionais (Tabela 1) permitiu reunir as bacias em 4 grupos (Áreas Edáficas I, II III e IV) considerando o valor máximo de perda de similaridade entre as bacias de 0,546, Tabela 2. As Áreas são constituídas de bacias assim numeradas: Área I: 1-2 e 3 (3 bacias); Área II: 4-5-6-7-8-9-10-11-12-15 e 16 (11 bacias); Área III: 13-14-17-18-19-20-22-23-24-25 e 26 (11 bacias) e Área: IV: 21-27-28-29-30-31-32-33-34 e 35 (10 bacias).

As bacias agrupadas guardam entre si maior similaridade, refletida nos menores valores de diferenças de razões quadráticas (Tabela 2), pois à medida que essa diferença aumenta ocorre uma correlata perda de similaridade, (STRAHLER, 1957; FRANÇA, 1968; CARVALHO et al., 2000).

Tabela 1 - Parâmetros dimensionais das bacias hidrográficas de 3º ordem de ramificação

Bacia Hidrográfica	Maior Comprimento (C)	Maior Largura (L)	Comprimento de Rios		Perímetro (P)	Área (A)
			Principal (CP)	Rede (CR)		

	(km)					(km2)
1	5,25	1,737	5,5	25,2	11,25	6,766
2	3,7	1,325	4	13,9	7,5	3,828
3	3,325	1,362	3,5	13,125	7,8	3,15
4	2,125	2,112	2,1	8,75	8,25	2,978
5	3,037	1,425	2,5	10,625	6,75	2,959
6	2,95	1,275	2,65	9,35	7,15	2,581
7	2,987	1,212	2,85	9,25	6,85	2,462
8	2,6	1,262	2,65	9	6,6	2,344
9	1,912	1,762	1,95	7,225	5,75	2,203
10	2,412	1,05	2,3	7,6	5,7	2,022
11	1,95	1,3	1,9	5,75	5,35	1,759
12	2,075	1,087	2	5,125	5,1	1,506
13	1,687	1,25	1,75	5,6	4,825	1,466
14	1,587	1,162	1,5	5,125	4,5	1,337
15	1,887	1,037	2,025	4,675	4,95	1,309
16	1,55	1,387	1,5	5,25	4,7	1,216
17	1,437	1,125	1,375	4,75	4,65	1,197
18	1,362	1,4	1,4	6,375	3,95	1,125
19	1,337	1,125	1,25	4,375	3,75	1,066
20	1,162	1,437	1	3,8	4	1,062
21	1,312	1,1	1,05	4,125	3,7	1,041
22	2,312	0,55	2,15	3,875	5	1,037
23	1,425	1,15	1,25	3,175	4	0,994
24	1,4	0,9	1,15	4,125	3,75	0,947
25	1,375	0,737	1,25	3,75	3,65	0,866
26	1,375	0,937	1,3	4,375	3,55	0,841
27	1,112	0,812	1	3,45	3,35	0,747
28	1,025	0,937	1	3,5	3,15	0,722
29	1,112	0,862	1,1	2,75	2,8	0,634
30	1,062	0,775	1	3,275	2,75	0,572
31	1,012	0,837	1	2,875	2,75	0,494
32	1,137	0,587	0,95	2,025	2,7	0,469
33	0,962	0,675	1	2,25	2,5	0,406
34	0,837	0,65	0,75	1,75	2,4	0,4
35	0,987	0,4	0,9	1,775	2,25	0,306

29	0,088	0,054	0,009	-	-	-	-	-	-	-	
30	0,227	0,154	0,101	0,061	-	-	-	-	-	-	
31	0,448	0,308	0,254	0,200	0,112	-	-	-	-	-	
32	0,055	0,024	0,122	0,088	0,193	0,295	-	-	-	-	
33	0,399	0,286	0,206	0,181	0,06	0,069	0,163	-	-	-	
34	0,327	0,251	0,334	0,297	0,426	0,517	0,178	0,353	-	-	
35	0,006	0,069	0,114	0,058	0,200	0,386	0,085	0,187	0,158	-	

(*) - Valor máximo de perda de semelhança das bacias.

A rede de drenagem da Bacia do Córrego da Onça com os agrupamentos das bacias de 3ª ordem de ramificação pode ser vista através da Figura 1.

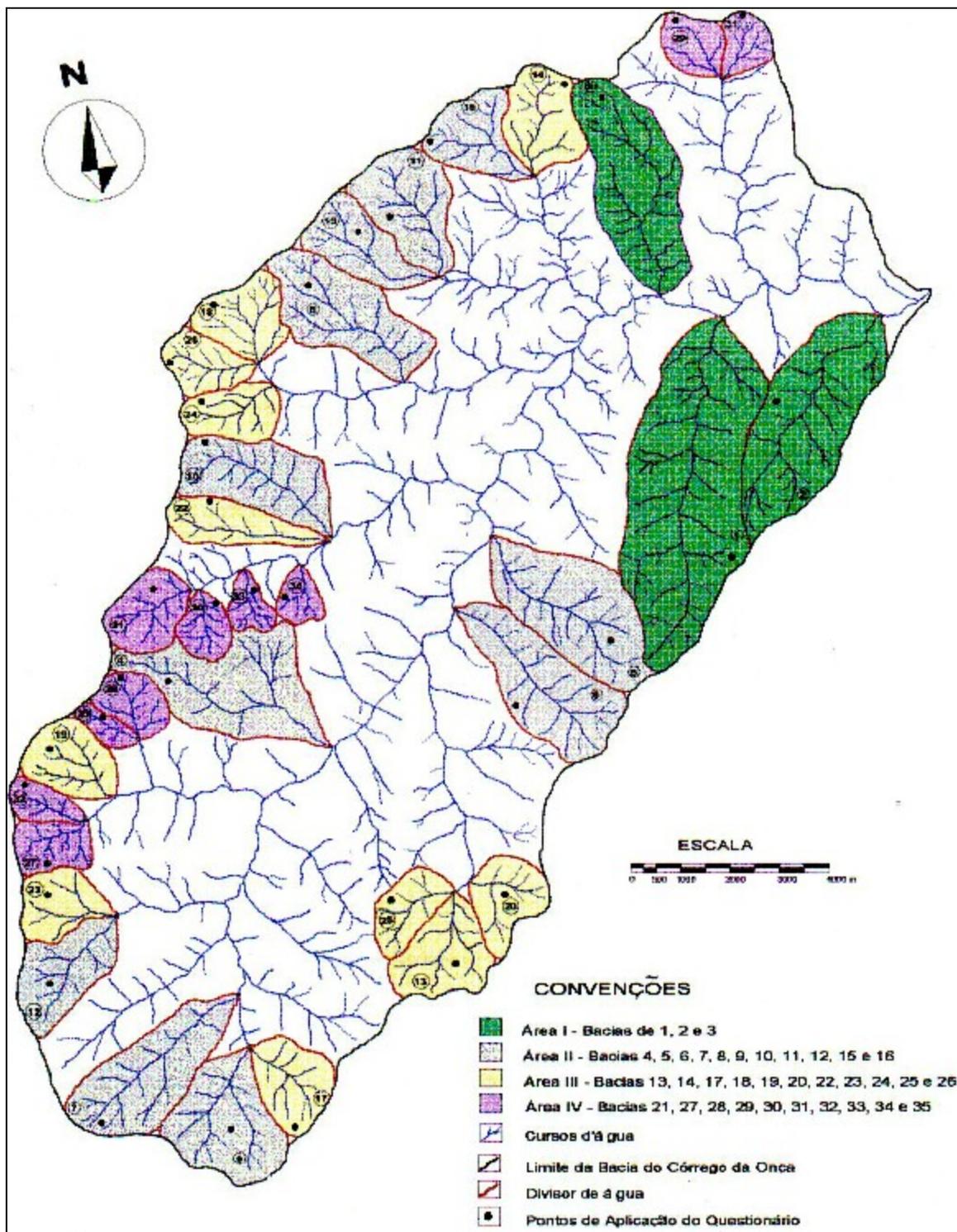


Figura 1 – Mapa da rede de drenagem do Córrego da Onça com as Áreas Edáficas.

Segundo CARVALHO et al. (2001) os solos das Áreas, constituídas por grupos de bacias reunidas pela semelhança geométrica, são ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS predominantemente Eutróficos (saturação por bases >50%), Abruptos (considerável aumento no conteúdo de argila dentro de pequena distância na zona de transição entre o horizonte A ou E e o horizonte B) e o horizonte A é do tipo Moderado e de textura Arenosa (classes texturais: areia e areia franca, <15% de argila e >70% de areia). De acordo com esses autores os solos das Áreas apresentam diferenças de profundidade, textura do horizonte B e relevo de ocorrência.

Os solos da **Área I** são **Muito Profundos**, (>200cm), com textura **Média** no horizonte **B** (<35% de argila e >15% de areia, excluídas as classes texturais areia e areia franca) e ocorrem em relevo **Suave Ondulado** (declives de 3 a 8%). Os solos da **Área II** são semelhantes aos da Área I, podendo diferir a profundidade e o relevo, isto é, podem ser também **Profundos** (>100<=200cm) e ocorrer em relevo **Ondulado** (declives de 8 a 20%). Os solos da **Área III** diferem das duas outras Áreas quanto à textura do horizonte B que pode ser também **Argilosa** (35 a 59% de argila) e relevo que é **Ondulado**, sendo solos predominantemente **Profundos**. Os solos da **Área IV** diferem das demais Áreas na profundidade, pois são solos **Pouco Profundos** (>50<=100cm) e de textura **Argilosa** no horizonte B e ocorrem em relevo **Ondulado**.

Assim, as principais características diferenciais dos solos (CARVALHO et al., 2001) que, provavelmente, influenciam na relação infiltração/deflúvio das Áreas são as seguintes:

Características	Área I	Área II	Área III	Área IV
Textura do Horizonte B	M	M	M/AR	AR
Profundidade	MP	MP/P	P	PP
Relevo	SO	SO/O	O	O

M- média; AR- argilosa; MP- muito profundo; P- profundo; PP- pouco profundo; SO- suave ondulado; O- ondulado.

Os valores médios do número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem de ramificação e os respectivos valores totais obtidos para as bacias hidrográficas das Áreas são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios do número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem de ramificação das bacias hidrográficas para as Áreas estudadas

Número				Comprimento Total				Comprimento Médio			
(Nw)				(Lw - km)				(Lmw - km)			
1a.	2a.	3a.	Nt	1a.	2a.	3a.	Lt	1a.	2a.	3a.	Lmt
ÁREA I											
*37,333	8,000	1,000	46,333	10,233	3,750	3,425	17,408	0,277	0,474	3,425	4,176
**40,896	8,904	1,000	50,800	11,323	4,227	3,735	19,285	0,279	0,479	3,735	4,496

ÁREA II											
*14,909	3,364	1,000	19,273	4,588	1,282	1,645	7,515	0,308	0,396	1,645	2,349
**15,874	3,567	1,000	20,441	4,899	1,362	1,759	8,021	0,309	0,394	1,759	2,462
ÁREA III											
*10,182	2,727	1,000	13,909	2,698	1,059	0,727	4,484	0,276	0,409	0,727	1,412
**10,359	2,771	1,000	14,130	2,748	1,012	0,750	4,510	0,276	0,495	0,750	1,521
ÁREA IV											
*8,100	2,900	1,000	12,000	1,682	0,652	0,467	2,801	0,215	0,235	0,467	0,917
**8,715	3,198	1,000	12,913	1,823	0,740	0,483	2,996	0,218	0,241	0,483	0,942

* - Média aritmética; ** - Média ponderada em relação à área das bacias.

Área - Número de bacias: I - 3; II - 11; III - 11 e IV - 10.

Observa-se que, os valores das médias aritmética e ponderada são próximos, e que os maiores valores médios de número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios em cada ordem de ramificação e os totais, foram obtidos para a Área I e os menores para a Área IV, ficando as Áreas II e III com valores intermediários. De modo geral os valores médios dos parâmetros da composição da rede de drenagem, número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios decrescem da Área I para a Área IV, indicando um comportamento hidrológico diferenciado das Áreas.

Os maiores valores obtidos para a Área I estão relacionados com os solos mais profundos e de textura média no horizonte B e relevo suave ondulado, com vertentes mais longas, e maior área de drenagem; e os menores valores obtidos para a área IV, provavelmente são devidos aos solos pouco profundos e de textura argilosa no horizonte B e ao relevo ondulado, fatores que contribuem para menor infiltração e maior deflúvio das águas pluviais, caracterizando, comparativamente, uma menor relação infiltração/deflúvio e, conseqüentemente as bacias, de 3^a ordem de ramificação, têm menor área de drenagem (Tabela 1).

As equações obtidas relacionando os logaritmos dos números, comprimentos totais e comprimentos médios de segmentos de rios com as ordens de ramificação, propostas por MAXWELL (1955), FRANÇA (1968) e VASQUES FILHO (1972), respectivamente para as Áreas estudadas estão contidas na Tabela 4 e suas representações gráficas estão nas Figuras 2, 3 e 4. Essas equações forneceram para as Áreas Edáficas valores do teste t para b e do teste F para a regressão significativos a 1% de probabilidade, com exceção da equação do comprimento total de segmentos de rios da Área I que foi significativo a 5% de probabilidade. Essa significância estatística mostra a existência de uma relação inversamente proporcional entre o número e comprimento total

de segmentos de rios e as ordens de ramificação e uma relação diretamente proporcional entre o comprimento médio de segmentos de rios e as ordens de ramificação. Essas observações podem ser visualizadas através das Figuras 2, 3 e 4.

O ajuste das equações, ou seja, a significância estatística demonstra a dependência dos parâmetros número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios com as ordens de ramificação, indicando que as redes de drenagem seguem as Leis Hidrofísicas de HORTON (1945) para número e comprimento médio e de STRAHLER (1957) para comprimento total de segmentos de rios, indicando segundo esses autores, que o desenvolvimento das redes de drenagem se faz em equilíbrio com o ambiente.

O gradiente textural, textura arenosa no horizonte A e/ou E e média ou argilosa no horizonte B, aliado a mudança textural abrupta e ao relevo ondulado tornam os Argissolos suscetíveis à erosão. Todavia, o uso atual predominante com pastagem e as práticas conservacionistas empregadas nas propriedades agrícolas, provavelmente, estão controlando a erosão laminar e em sulcos que em sua evolução forma canais de drenagem desorganizando a hierarquia do sistema de drenagem; uma vez que foi observada a aplicação das Leis Hidrofísicas.

Tabela 4 – Equações ajustadas para número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios das bacias hidrográficas para as áreas estudadas

Área	Equação	Coeficientes		Testes		Antilog b
		r	r ²	tb	F	Rb
I	Log Nw = 2,3616 - 0,7763w	-0,9809	0,9621	**	**	5,974
II	Log Nw = 1,7088 - 0,5775w	-0,9719	0,9445	**	**	3,780
III	Log Nw = 1,4553 - 0,4947w	-0,9594	0,9205	**	**	3,124
IV	Log Nw = 1,3263 - 0,4428w	-0,9491	0,9008	**	**	2,772
						Rlw
I	Log Lw = 1,1565 - 0,2355w	-0,7611	0,5793	*	*	1,720
II	Log Lw = 0,7569 - 0,2274w	-0,6459	0,4171	**	**	1,688
III	Log Lw = 0,6826 -	-	0,6822	**	**	2,007

	0,3025w	0,8260				
IV	Log Lw = 0,4427 - 0,2873w	- 0,7646	0,5846	**	**	1,938
						Rl
I	Log Lmw = -1,2056 + 0,5409w	0,9357	0,8756	**	**	3,475
II	Log Lmw = -0,9519 + 0,3502w	0,8447	0,7135	**	**	2,240
III	Log Lmw = -0,7727 + 0,1921w	0,7060	0,4985	**	**	1,556
IV	Log Lmw = -0,8844 + 0,1557w	0,5698	0,3246	**	**	1,431

Coefficientes: r - correlação; r^2 - determinação; tb - teste t para b; F - teste para a regressão.

** - Significativo a 1 %. * - Significativo a 5%

Os valores das razões obtidas através do antilog de b das equações para as Áreas I,II,III e IV foram os seguintes: razão de ramificação (Rb) 5,974; 3,780; 3,127 e 2,772; razão de comprimento total (Rlw) 1,720; 1,688; 2,007 e 1,938 e razão de comprimento médio (Rl) 3,475; 2,240; 1,556 e 1,431, respectivamente (Tabela 4). Os valores de razão de ramificação permitem uma diferenciação da área I em relação às demais e pouca diferenciação entre as áreas II, III e IV. Os valores de razão de comprimento total são próximos para as Áreas, não permitindo uma nítida discriminação das mesmas. Os valores de razão de comprimento médio discriminam as áreas I, II e III, sendo que, o mesmo não ocorre para as áreas III e IV, provavelmente, devido aos solos, da Bacia do córrego da Onça, apresentarem semelhança genética e diferenças na profundidade, textura do horizonte B e relevo.

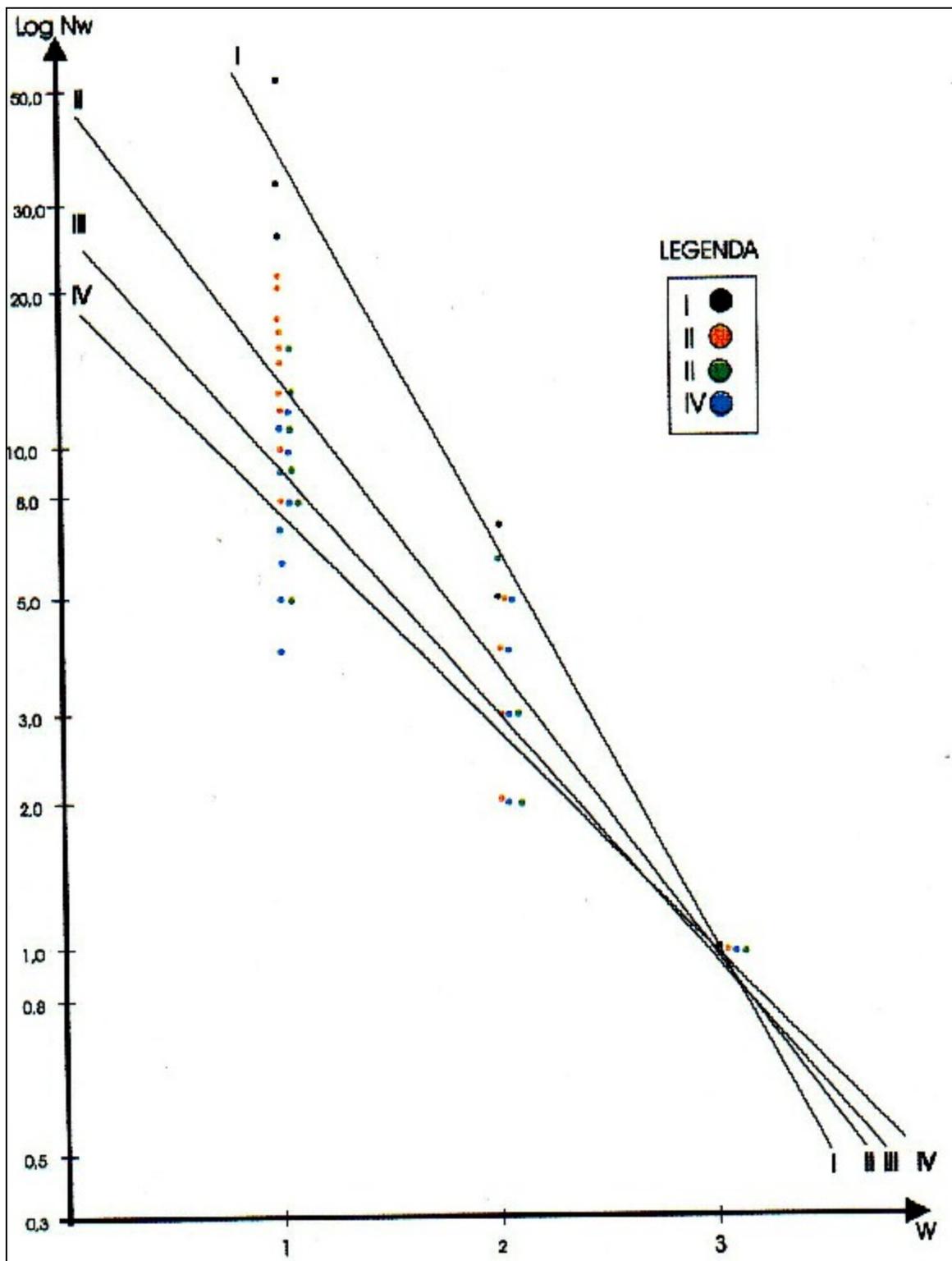


Figura 2 – Regressão dos números de segmentos de rios (Nw) sobre as ordens de ramificações (w) para as áreas estudadas.

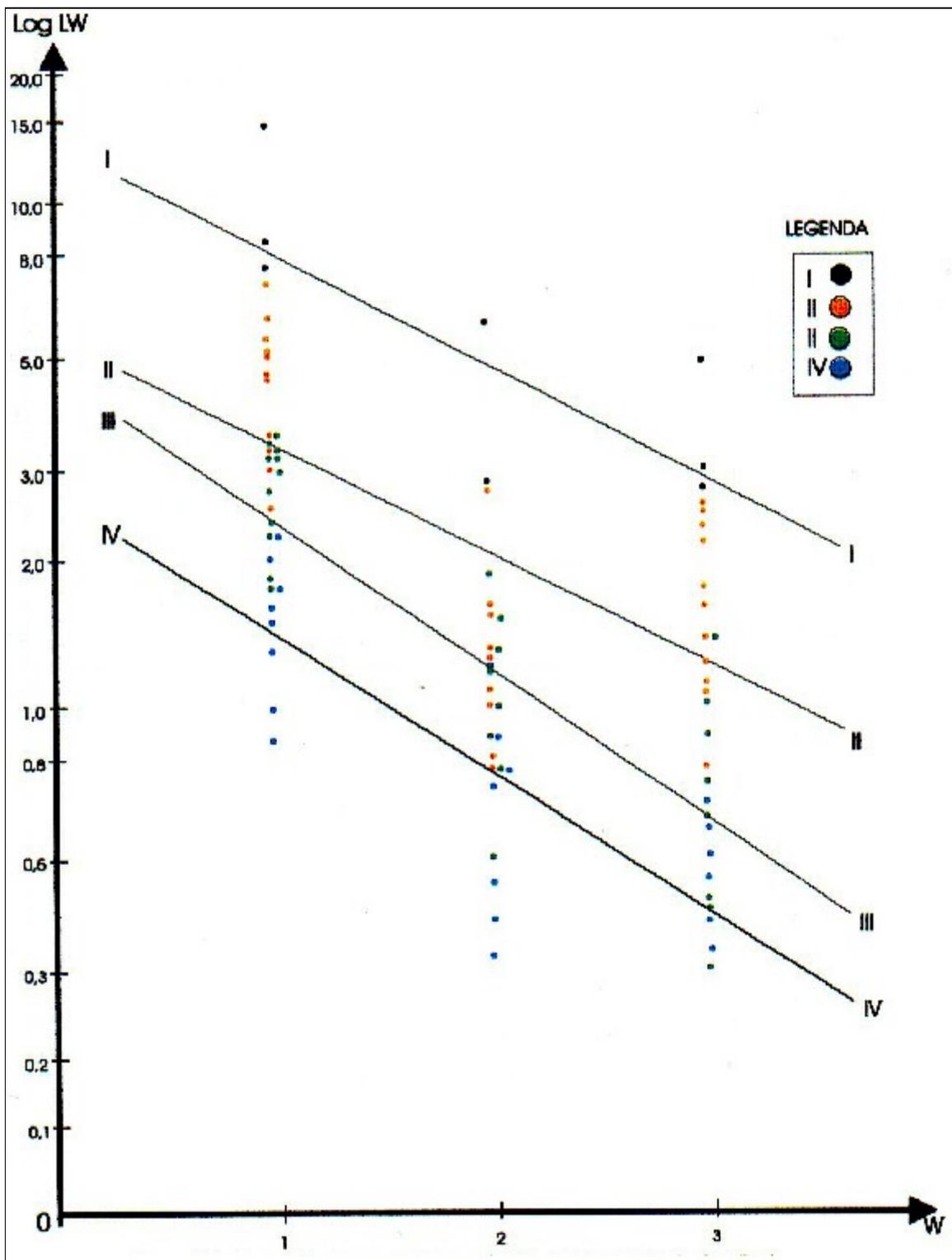


Figura 3 – Regressão dos comprimentos totais de segmentos de rios (Nw) sobre as ordens de ramificação (w) para as áreas estudadas.

O padrão de drenagem é o resultado do trabalho das águas que atingem, penetram e se escoam pela superfície do terreno e fornece indícios sobre a composição e a origem dos materiais dos solos.

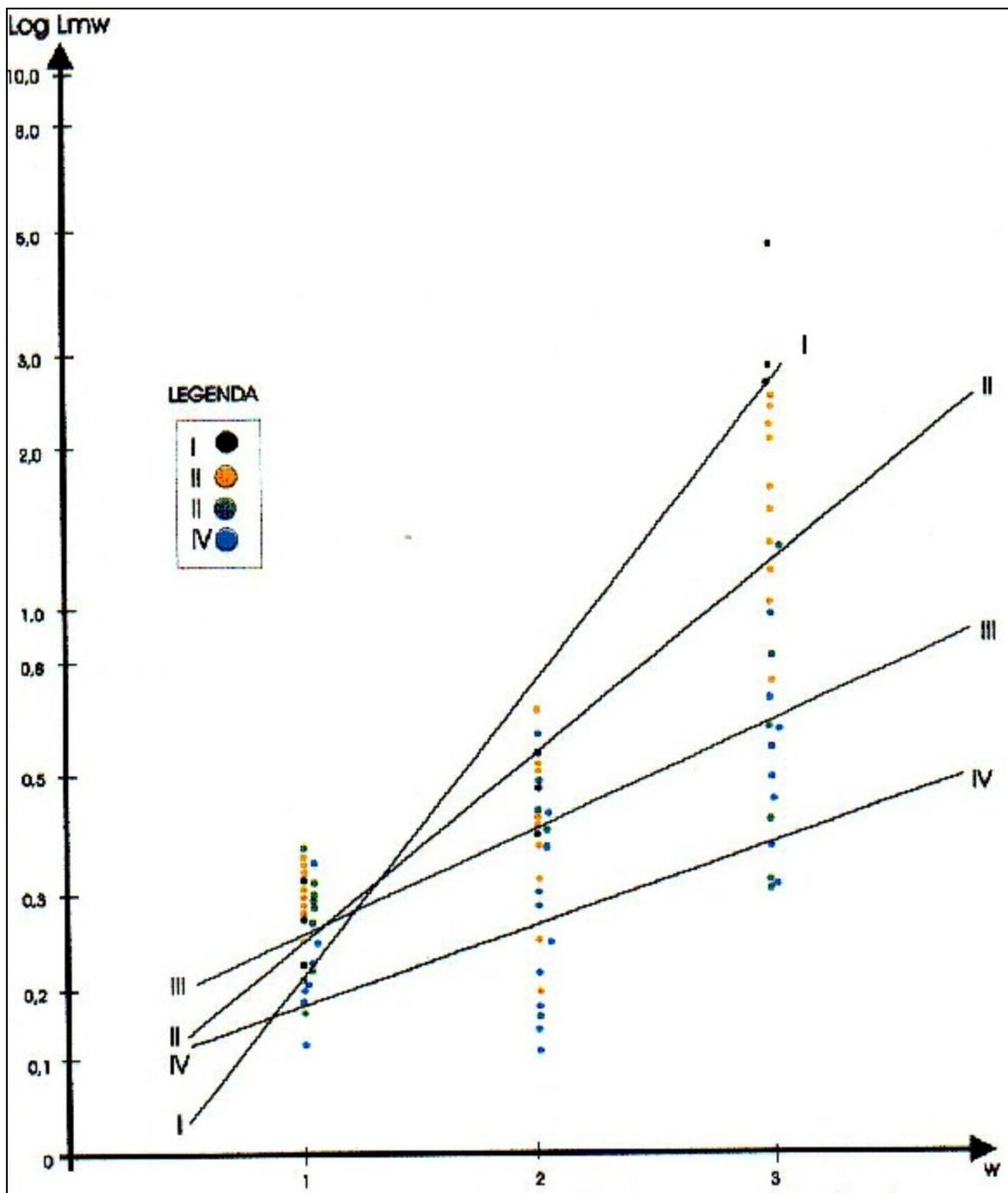


Figura 4 – Regressão dos comprimentos médios de segmentos de rios (Lmw) sobre as ordens de ramificações (w) para as áreas estudadas.

As características quantitativas do padrão de drenagem e a classe de textura topográfica, para as áreas estudadas, são apresentadas na Tabela 5.

Os índices frequência de rios, densidade de drenagem e razão de textura com os valores médios de: 8,367; 3,841 e 4,136; 7,128; 3,577 e 2,422; 9,473; 4,163 e 1,492; 14,736; 4,935 e 2,825, respectivamente para as Áreas I, II, III e IV, refletem as características dos solos, indicando que a relação infiltração/deflúvio decresce em relação às Áreas da seguinte maneira: II > I > III > IV. Os solos da área IV são pouco profundos e de textura argilosa e ocorrem em relevo ondulado, o que favorece o deflúvio em detrimento a infiltração da água, concordando com FRANÇA (1968), CARVALHO

(1977, 1981), que verificaram que a relação entre a infiltração e o deflúvio é função da natureza e propriedades dos solos.

Tabela 5 - Valores médios dos índices do padrão de drenagem e classe de textura topográfica das bacias hidrográficas para as Áreas estudadas

Área	Frequência de Rios (Fr)*	Densidade de Drenagem (Dd)**	Razão de Textura (T)***	Razão de Textura Média (Tm)***	Classe de Textura Topográfica
I	8,367	3,841	4,136	4,5	Média
II	7,128	3,577	2,422	2,5	Média
III	9,473	4,163	2,492	2,5	Média
IV	14,736	4,935	2,825	2,9	Média

(*) - número de rios/km²; (**) - km de rios /km²; (***) - número de rios/km

Área - Número de bacias: I - 3; II - 11; III - 11 e IV - 10.

A razões de textura média obtidas para as áreas I , II , III e IV foram as seguintes: 4,3; 2,5; 2,5 e 2,9, respectivamente (Tabela 5). Esses valores discriminam a Área I das demais, todavia, classificam a textura topográfica das Áreas Edáficas em "Média" (SMITH, 1950; FRANÇA, 1968), devido ao intervalo muito amplo das classes, que não permite diferenciar solos com relevos pouco contrastantes.

Os questionários aplicados nas 35 bacias, através de entrevistas com os proprietários arrendatários e/ou empregados permanentes, permitiram verificar que o uso do solo com pastagem é predominante, e que, as proporções com pastagem, agricultura e reflorestamento e/ou mata nativa para as Áreas I, II, III e IV, em porcentagem, são as seguintes: 61 – 34 – 5; 78 – 17 – 5; 62 – 30 – 8 e 70 – 26 – 4, respectivamente.

A cultura comum a todas as Áreas é a batata-doce com predomínio na Área I (11,33%). As demais culturas são as seguintes: feijão, milho, café, hortaliça, holericultura, amendoim e mandioca.

Com relação ao manejo do solo na agricultura observa-se que: 100% das propriedades da Área III; 13% da Área IV; 11,3% da Área I e 3% da Área II adubam o solo. Quanto a incorporação no solo de resíduos de colheita, 100% das propriedades das Áreas I, II e IV e 21% da Área III fazem este procedimento. A rotação de culturas é feita em 100% das propriedades da Área I , 50% da Área II , 4,3% da Área III e a Área IV não faz. O uso de implemento agrícola ocorre em 100% das propriedades das Áreas I e II;

25,7% da Área III e a área IV não usa.

A Área I apresenta os maiores percentuais em relação às outras Áreas, no que diz respeito a incorporação de resíduos de colheita, rotação de culturas, uso de implemento agrícola, aração e gradagem, e que , apenas não obtém 100% na adubação.

Todavia, com relação à conservação na agricultura, a Área I não faz as seguintes práticas conservacionistas: curva-de-nível, bacia de contenção e terraceamento, sendo que, nas demais Áreas as práticas conservacionistas variam de: curva-de-nível, 60% na Área II, 71% na Área III e 19,2% na Área IV; bacia de contenção, 50% na Área II, 28% na Área III e 11,5% na Área IV.

O preparo do solo com aração e gradagem é feito em 100% das propriedades das Áreas I e IV, 75% da Área II e 25,7% da Área III.

Quanto ao manejo da pastagem, verifica-se que 21% das propriedades da Área III e apenas 1,3% da área II adubam o solo e as outras duas Áreas não são adubadas.

A prática conservacionista predominante na pastagem das áreas II , III e IV é a curva-de-nível, seguida da bacia de contenção, sendo que, terraceamento é feito em apenas 10% da Área I.

O predomínio de uso com pastagem, algum tipo de manejo e as práticas conservacionistas na pastagem e na agricultura, provavelmente estão sendo suficientes para controlar a erosão laminar e em sulcos, uma vez que, a hierarquização da rede de drenagem não está sendo afetada, o que foi confirmado pelo fato da rede de drenagem seguir as Leis Hidrofísicas.

CONCLUSÕES

O teste de semelhança geométrica e análise dimensional, aplicado em bacias hidrográficas de terceira ordem de ramificação, foi sensível para discriminar solos geneticamente semelhantes e de mesmo material de origem e com diferenças de profundidade, textura do horizonte B e relevo;

A composição da rede de drenagem: número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios discriminam as Áreas Edáficas indicando comportamento hidrológico diferenciado;

A frequência de rios e a densidade de drenagem refletem as características dos solos, indicando que a relação infiltração/deflúvio decresce em relação às Áreas da seguinte maneira: II > I > III > IV;

A razão de textura média permite classificar a textura topográfica das Áreas em "Média", não sendo sensível para diferenciar solos com relevos pouco contrastantes;

A composição e as características do padrão de drenagem, dos solos geneticamente semelhantes variaram com a profundidade do solo e com o relevo;

O ajuste das equações propostas para número, comprimento total e comprimento médio de segmentos de rios, indica que a rede de drenagem de cada Área obedece as Leis Hidrofísicas de Horton e Strahler e que seu desenvolvimento se faz em equilíbrio com o ambiente, devido a adequação do uso e manejo do solo com os elementos do ambiente;

O uso predominante dos solos com pastagem aliado ao manejo e às práticas conservacionistas estão sendo adequados para controlar a erosão nas bacias de 3ª ordem de ramificação, visto que as redes de drenagem das Áreas seguem as Leis Hidrofísicas;

O uso do solo com pastagem é predominante nas Áreas, com 67%, a agricultura com 26,8% e mata nativa e/ou reflorestamento com 5,6%.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, R.B.; CARVALHO, W.A. **Avaliação da erosão através da interpretação fotográfica da rede de drenagem e do relevo.** *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu, v.14, n.3, p.1-12, 1999.
- CARVALHO, W.A. **Fotointerpretação de bacias hidrográficas e de amostras circulares de redes de drenagem de solos com horizonte B textural.** 1977. 126f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CARVALHO, W. A. **Relações entre relevo e solos da bacia do Rio Capivara Município de Botucatu-SP.** 1981, 181f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- CARVALHO, W.A.; FREIRE, O.; MORAES, M.H. **Distribuição de solos e semelhança geométrica de bacias hidrográficas.** In: SEMANA DA GEOGRAFIA, 2, 2000, Presidente Prudente. *Caderno...* Presidente Prudente: Faculdade de Ciências e Tecnologia/UNESP, 2000. p.137-138.
- CARVALHO, W.A. et al. **Levantamento semidetalhado dos solos do Município de Presidente Prudente-SP.** 2001 (em desenvolvimento-FCT/UNESP-Presidente Prudente).

- COELHO, A.G S. de. **Obtenção de dados quantitativos com o emprego de fotografias aéreas verticais.** *Aerofotogrametria*, São Paulo, v.8, p.1-23, 1972.
- FRANÇA, G.V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba.** 1968. 151f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- HORTON, R.E. **Erosional development of streams their and drainage basins: hidrophysical approach to quantitative morphology.** *Bulletin of Geological Society of America*, Boulder, v.56, p. 275-370, 1945.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT.Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, *IPT*, v.1, 1981. 126p. Mapa escala 1:500.000.
- LUEDER, D.R. **Aerial photographic interpretation: principles and applications.** New York: Mc Graw-Hill Book Company Inc., 1959. 562 p.
- MAXWELL, J.C. **The Bifurcation ratio in Horton's law of stream number.** *Transactions of the American Geophysical Union*, Washington, abstract. v. 36, p.520, 1955.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida.** Campinas, EMBRAPA-SOLOS/IAC,1999. 64p. Mapa escala 1:500.000.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **User's guide.** SAS Institute Inc. Cary, NC, 1.996. 956p.
- SMITH, K.G. **Standards for grading texture of erosional topography.** *American Journal Science*, New Haven, v. 248, p. 655-68, 1950.
- STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** *Transactions of the American Geophysical Union*, Washington, v.38, p.913-20, 1957.
- VASQUES FILHO, J. **Crítérios morfométricos aplicados à fotointerpretação das redes de drenagem em três unidades de solos no Município de Piracicaba.** 1972. 113f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.