

FATORES GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS E PEDOLÓGICOS NO DESENVOLVIMENTO DE BOÇOROCAS NA BACIA DO PEIXE-PARANAPANEMA (SP)

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados obtidos em estudo realizado na Bacia do Peixe-Paranapanema, no Estado de São Paulo. Nesta região, com área de 69.333 km², foram cadastradas 896 ocorrências de boçorocas e ravinas profundas, cuja distribuição foi comparada com a das formações geológicas, sistemas de relevo e tipos de solos. Para cada fator de análise foi estabelecido um índice de concentração de boçorocas (CB). Os valores de CB mostraram que as boçorocas se concentram em formações geológicas areníticas com cimentação carbonática, nos relevos mais movimentados da região, e, ainda, em solos podzólicos de textura areno-sa/média e média. Acredita-se que a correlação mais significativa seja a verificada com os solos, com relação aos quais a geologia e a geomorfologia podem ser considerados, simpli-ficadamente, apenas fatores predis-ponentes.

Waldir Lopes Ponçano

Fernando Facciolla Kertzman

Fernando Ximenes de Tavares Salomão

Geólogos do Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de
São Paulo S.A. - IPT

INTRODUÇÃO

A tentativa de estabelecer correlações entre o desenvolvimento de boçorocas e diversos fatores de meio físico e da intervenção humana, data praticamente da mesma época em que esse processo erosivo foi reconhecido, no final do século XIX. Dentre a literatura que trata do assunto, que começa a tornar-se extensa a partir de 1960, pode-se destacar as contribuições de SETZER (1949), que discute o papel das águas e dos solos, PICHLER (1953) na caracterização da função das águas de subsuperfície e do desenvolvimento do processo, CHRISTOFOLETTI (1968) na apreciação

da influência do solos e da urbanização, VIEIRA (1972) e FURLANI (1980) na apreciação de fatores geomorfológicos e climáticos, PRANDINI (1974) na caracterização da ocupação territorial, RODRIGUES (1982) na análise de fatores geotécnicos e MURATORI (1984) que demonstrou, através de estudo sistemático na Bacia do Ribeirão dos atos, determinadas correlações que ora visamos, em parte, verificar na Bacia do Peixe-Paranapanema. Uma revisão bibliográfica foi recentemente realizado por PONÇANO e PRANDINI (1987), enfocando o Estado de São Paulo.

A região abrangida pelo presente trabalho é a Bacia do Peixe-

Paranapanema, uma das unidades administrativas do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE, abrangendo cerca de

69.333 km², com um total de 136 municípios, entre os quais Presidente Prudente, Marília, Assis, Ourinhos, Avaré e Itapetinga. (Fig. 1)

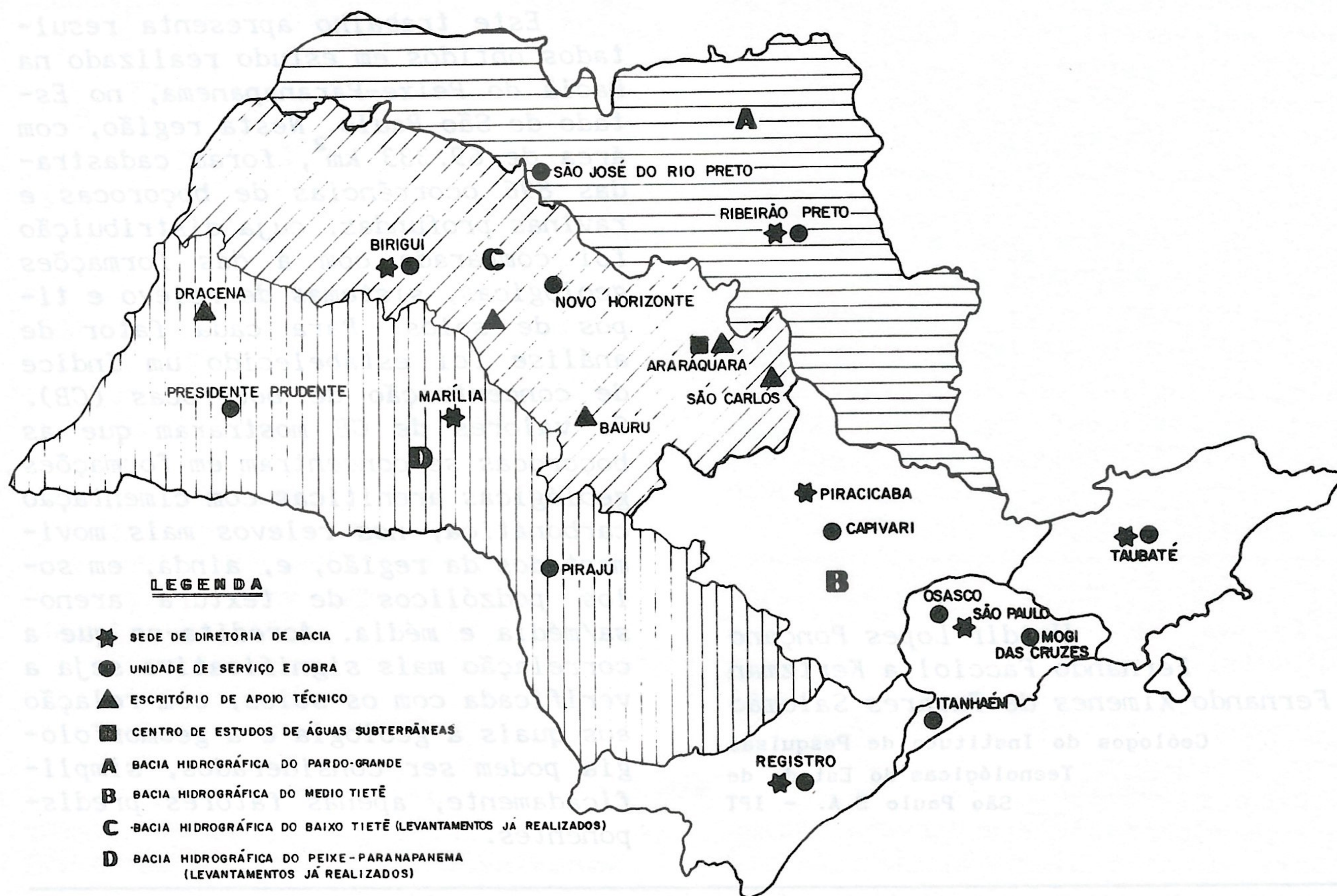


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Essa bacia abrange rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, no Alto Paranapanema, a seqüência paleozóica da Bacia do Paraná, no Médio Paranapanema e as rochas básicas e areníticas mesozóicas no Baixo Paranapanema (ALMEIDA et alii, 1981). A essas três porções da bacia, correspondem, respectivamente, relevos do Planalto Atlântico, Depressão Periférica, Cuestas Basálticas e Planalto Ocidental, com predomínio de morrotes alongados, colinas amplas e médias, e escarpas festonadas (PONÇANO et alii, 1981).

No que se refere aos solos, predominam os podzólicos com textura

arenosa ou argilosa, latossolos de textura média ou argilosa, terra roxa estruturada, latossolo roxo e litólicos (Projeto RADAMBRASIL, no prelo).

METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado o cadastramento de ravinas profundas e boçorocas nas áreas rurais e urbanas de toda a Bacia. Foram reconhecidas 896 ocorrências, que devem representar todas as boçorocas urbanas e, estimadamente, ao menos 90 % das ravinas profundas e boçorocas rurais. Ravinas e boçorocas são pro-

cessos erosivos que diferem funcionalmente (cf. PONÇANO & PRANDINI, 1987); entretanto, dada a maior incidência de boçorocas em áreas ravinadas, as apreciações do presente trabalho tratarão dessas feições de forma associada. Está simplificação decorre, ainda, da dificuldade que se encontrou em diferenciar, durante os trabalhos de campo a nível regional, ravinas profundas de boçorocas.

Embora se reconheça que todas as boçorocas atuais sejam induzidas pela atividade humana, considera-se neste estudo, que as rurais se desenvolvem sob um controle mais efetivo de fatores naturais, dos quais as urbanas se afastam decisivamente, pois que ocorrem mesmo sob as melhores condições de topografia e drenagem natural do maciço terroso, bastando que se promova a concentração de águas servidas ou coletadas por drenagens artificiais.

Entretanto, muitas boçorocas rurais também foram induzidas por manejos inadequados, comparáveis, em intensidade, às urbanas; a isto acresce a ocorrência de boçorocas distantes das cidades, mas induzidas por rodovias e ferrovias.

Assim, foi necessário dividir as boçorocas em dois grandes grupos, que não correspondem às classificações mais correntes; no primeiro estão as boçorocas rurais, causadas por alterações hidrológicas das bacias de contribuição das drenagens, provocadas pelo intenso desmatamento dessas bacias. O desequilíbrio hidrológico que assim se instala provoca alterações importantes no regime de vazões, induzindo o rejuvenescimento das drenagens.

Na busca de um novo perfil de equilíbrio, compatível com as mudanças hidrológicas regionais, a drenagem remonta e reentalha, originando boçorocas ramificadas e de grande porte.

No segundo grupo foram incluídas as boçorocas urbanas causadas pelo lançamento das águas captadas e servidas, em drenagens próximas às cidades, e as boçorocas rurais induzidas por rodovias e ferrovias, bem como por manejo agrícola inadequado, cercas, trilhas de gado e abatimentos bruscos.

Numa segunda etapa, foram elaboradas cartas temáticas - todas em escala 1:250.000 - referentes a geologia, geomorfologia, pedologia (nestes três casos usando-se mapas compilados e não publicados do acervo do IPT) e cartas de ocorrência das boçorocas.

Sobre essas cartas, foram contadas as ocorrências de boçorocas por tipo de área (referente a uma dada formação, sistema de relevo e tipo de solo), que foi, por sua vez planimetrada. Pode-se então calcular a frequência de boçorocas por fator, expressando-a através do índice de concentração de boçorocas (CB), definido como:

$$CB = N/A.100$$

onde:

N é o número de boçorocas por fator área,

A é a área expressa em km^2 .

A multiplicação por 100 visa à produção de um número de fácil leitura, representativo da média de boçorocas por $100km^2$.

Arbitrariamente, fixou-se o valor de $660km^2$, ou seja, 1% da área total da bacia, como valor mínimo de ocorrência de um dado fator, para que ele fosse levado em conta.

A terceira etapa refere-se à presente análise.

RESULTADOS OBTIDOS

No Grupo 1 foram reconhecidas 347 boçorocas (38,7% do total), e 549 (61,3%) no Grupo 2, num total de 896 boçorocas, para uma área planimetrada de 66.000km²; a diferença de 3.333km² com relação à área da bacia, deve-se à exclusão dos lagos de barragens e aos erros de medição.

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram as distribuições dos valores de CB para os fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

A distribuição de CB por formação geológica (Tabela 1) mostra haver maiores concentrações de boçorocas sobre rochas areníticas com cimentação carbonática (local ou generalizada), como é o caso das formações Adamantina e Marília. Outras formações areníticas, quais sejam, Caiuá, Santo Anastácio e Pirambóia (estas duas e principalmente a última com inclusões de fácies finas, lamíticas) apresentam CB menores, já comparáveis com os das demais formações.

Formação Geológica	Área (%)	Nº de Ocorrências	CB	Boçorocas do Grupo 01	%	Boçorocas do Grupo 02	%
Marília	9,2	213	3,5	102	47,1	111	52,9
Adamantina	38,6	528	2,1	192	36,4	336	63,6
Sto. Anastácio	6,6	39	0,9	17	43,6	22	56,4
Pirambóia	1,6	07	0,7	01	14,3	06	85,7
Caiuá	4,6	17	0,6	00	0,0	17	100,0
Teresina	2,7	09	0,5	04	44,4	05	65,6
Serra Geral	12,9	30	0,4	09	30,0	21	70,0
Itararé	16,9	25	0,2	07	28,0	18	72,0
Botucatu	(0,7)	24	*	-	-	-	-
Tatui	(0,3)	04	*	-	-	-	-
Outras Formações	5,9	0,0	0,0	-	-	-	-

* As formações Botucatu e Tatui ocorrem em menos de 1% da área de estudo, estando abaixo do valor mínimo estabelecido para a análise.

Grupo 01 - Rurais (reativação de drenagens)

Grupo 02 - Urbanas, rodovias e ferrovias e manejo inadequado (cercas, trilha de gado, etc.)

TABELA 01 - Distribuição de boçorocas e ravinas profundas por formação geológica

No que se refere aos sistemas de relevo (Tabela 2), valores de CB destacadamente maiores ocorrem nos relevos de transição, colinas médias e morrotes alongados com espigões, ou seja, nos relevos regionais mais movimentados, devido à associação de suas características de declividade

e extensão dos interflúvios. As colinas amplas e os morros arredondados, com valores de CB significativamente menores, apresentam características de declividade similares às dos relevos anteriores; diferenciam-se deles, entretanto, por terem interflúvios mais extensos.

Feição Geomorfológica	Área (%)	Nº de Ocorrências	CB	Boçorocas do Grupo 1	%	Boçorocas do Grupo 2	%
Relevo de Transição	2,0	50	4,9	21	42,0	39	58,0
Colinas Médias Morrotes Alongados e Espigões	37,5	464	4,7	164	35,2	302	64,8
Colinas	45,2	377	1,3	161	42,7	216	57,3
Morros Arredondados	1,2	5,0	0,4	00	0,0	05	100,0
Outras Feições	14,1	-	0,0	-	-	-	-

TABELA 2 - Distribuição das boçorocas e ravinas profundas por tipo de relevo

Com relação aos solos (Tabela 3), talvez se possam distinguir três

grupos. O primeiro abrange os podzólicos com textura arenosa/média

e média, com o maior valor de CB; o segundo os latossolos com textura média e argilosa e podzólicos com textura argilosa. O terceiro engloba

os latossolos roxos e a terra roxa estruturada, ambos com textura argilosa e muito argilosa.

Classe Pedológica	Área (%)	Nº Total de Ocorrência	CB	Boçorocas do Grupo 1	%	Boçorocas do Grupo 2	%
Podzólico vermelho-amarelo, textura arenosa/média, média e média/argilosa e Podzólico vermelho-escuro textura arenosa/média e média.	54,3	774	2,1	310	40,0	464	60,0
Latossolo vermelho-amarelo, textura média e latossolo vermelho-escuro, textura média.	18,8	81	0,6	26	32,1	55	67,9
Podzólico vermelho-amarelo, textura argilosa.	1,2	05	0,6	03	60,0	02	40,0
Latossolo vermelho-escuro, textura argilosa.	7,0	22	0,5	03	13,6	19	86,4
Terra roxa estruturada.	1,5	03	0,3	02	66,6	01	33,3
Latossolo roxo.	4,5	08	0,3	02	25,0	06	75,0
Litólicos	(0,7)	01	*	-	-	-	-
Outras classes	12,0	00	-	-	-	-	-

* Os litólicos ocorrem em menos de 1% da área de estudo, estando abaixo do valor mínimo estabelecido para a análise.

TABELA 3 - Distribuição de boçorocas e ravinas profundas por classe pedológica

DISCUSSÃO

A literatura prévia tem procurado destacar a influência do substrato geológico na ocorrência das boçorocas, reconhecendo inicialmente sua associação com formações arenosas (SETZER, 1949; VIEIRA, 1972), e mais tarde sua associação com as coberturas arenosas cenozóicas, as formações superficiais (VIEIRA, 1972; LANDIM et alii, 1974; POPP & BIGARELLA, 1975; MURATORI, 1984). No caso da Bacia do Peixe-Paranapanema, não foram consideradas as formações superficiais, mas pôde-se constatar que as maiores concentrações de boçorocas não coincidem com todas as formações areníticas, e sim, com as formações areníticas com alguma ou importante cimentação carbonática.

Por outro lado, no que concerne ao relevo, tem-se dado destaque às formas das encostas, reconhecendo-se como mais suscetíveis à formação de boçorocas as do tipo convexo (OKA-FIORI & SOARES, 1976; MURATORI, 1984); algumas tentativas de correlação com setores de planalto tem sido também tentadas (FURLANI, 1980). No presente estudo, verificou-se boa correlação com características de declividade e tamanho dos interflúvios: em linhas gerais, relevos mais declivosos e/ou com menores interflúvios mostraram-se mais suscetíveis ao desenvolvimento das boçorocas. Isto equivale a dizer que as boçorocas tendem a se manifestar nas encostas mais longas ou mais inclinadas da área estudada.

Note-se que as presentes apreciações sobre o relevo não colocam em questão as descobertas da literatura prévia; trata-se aqui de outra possibilidade de abordar esse assunto. Entretanto, observações realizadas em especial na porção da Bacia do Peixe-Paranapanema situado no Planalto Ocidental são fortemente

indicativas de que anfiteatros com pequenos setores retilíneos de encostas, algo distinto das encostas convexas coletoras e dispersoras (segundo TROEH, referidas por RODRIGUES, 1982 e, provavelmente, por OKA-FIORI & SOARES, 1976) se constituem na configuração de encosta mais importante, nessa região, ao desenvolvimento de boçorocas. O tipo de encosta aqui referido caracteriza-se por ruptura de declividade que delimita pequenos embaciamentos (provavelmente pleistocênicos), geralmente situados em cabeceiras de drenagens. Esses embaciamentos são preenchidos por sedimentos pouco consolidados, que apresentam forte suscetibilidade ao aprofundamento de ravinas e ao desenvolvimento de boçorocas.

Na verdade, os pontos até aqui abordados nesta discussão acham seu ponto de convergência quando se leva em conta os dados dos solos.

Inicialmente, os presentes autores se filiam à literatura prévia, no sentido de que também acreditam poder buscar melhores explicações para os processos erosivos nas coberturas cenozóicas e não nas formações geológicas tradicionais. Ocorre porém que, dadas as características da evolução cenozóica paulista (cf. MELO & PONÇANO, 1983) são escassos os registros de coberturas sedimentares terciárias e quaternárias na região da Bacia do Peixe-Paranapanema. Assim, das observações até agora realizadas, pode-se considerar que tais coberturas abrangem as seqüências originadas da evolução pedológica, ou seja, os solos.

Dessa maneira, pode-se considerar que as correlações anteriormente mencionadas entre concentrações de boçorocas, substrato geológico e relevo, na verdade refletem as correlações entre tipos de rochas, tipos de relevos e solos. A correlação

mais produtiva, então, a ser explorada, vem a ser entre o processo erosivo (as boçorocas) e a cobertura de materiais móveis (os solos).

Retomando-se então os dados das Tabelas 1, 2 e 3, verifica-se que substratos areníticos com cimentação carbonática originam relevos mais movimentados; estão dadas as condições potencialmente favoráveis ao desenvolvimento de solos do tipo podzólico com textura arenosa/média e média, cujas características texturais e estruturais são, reconhecidamente, as mais favoráveis ao desenvolvimento das boçorocas (CHRISTOFOLETTI, 1968; OLIVEIRA et alii, 1987; SETZER, 1949 também já reconheceram, para o Estado de São Paulo, a maior suscetibilidade dos solos de textura arenosa ao desenvolvimento das boçorocas. Os dados da Tabela 3 permitem reconhecer três categorias de solos: a primeira envolve os podzólicos vermelho-amarelos e vermelho-escuros de textura arenosa/média e média, os mais suscetíveis à formação de boçorocas. A segunda abrange latossolos vermelho-amarelos e vermelho-escuros de textura média e argilosa, bem como os podzólicos vermelho-escuros de textura argilosa. Finalmente, os solos de menor suscetibilidade ao desenvolvimento de boçorocas envolvem os latossolos roxos e as terras roxas estruturadas.

Seria de se esperar que as diferentes categorias de solos, com respeito a suas suscetibilidades à formação de boçorocas, reunissem de um lado os podzólicos e de outro os latossolos (neste caso, distinguindo ainda os latossolos roxos como categoria à parte). Entretanto, as constatações feitas a partir da Tabela 3 levam às considerações que seguem.

A suscetibilidade relativamente menor dos podzólicos vermelho-escuros de textura argilosa pode ser explicada pela resistência mecânica oferecida pelo horizonte B argílico ao aprofundamento das ravinas. Por sua vez, as terras roxas estruturadas, embora apresentem certa concentração de argilas no horizonte B, têm baixa gradiência textural, ou seja, não apresentam passagem abrupta entre horizontes A e B, o que as aproxima dos latossolos.

Um elemento adicional para a compreensão da marcante suscetibilidade à formação de boçorocas apresentada pelos podzólicos vermelho-amarelos refere-se, provavelmente, às suas características texturais e estruturais face à circulação das águas: dado o contraste que apresentam entre horizonte A, mais arenoso, e B textural, há uma certa facilidade de concentração das águas de superfície, que formam rapidamente pequenos sulcos. Estes, ao se aprofundarem, evoluem para ravinas profundas e, mesmo, boçorocas, uma vez interceptado o freático. Neste caso, o horizonte B textural não oferece a mesma resistência mecânica do B argílico dos podzólicos vermelho-escuros.

Assim, a questão dos embaciamentos anteriormente mencionados, pode ser vista agora de modo mais completo: áreas de colinas médias, nas quais se desenvolvem podzólicos, favorecem a concentração das águas no sentido de formarem ravinas. Estas águas, assim coletadas, ao atingirem os embaciamentos, tendem a aprofundar-se, alcançando rapidamente o freático. Implanta-se a boçoroca, que adquire de início as características de cabeceira de drenagem remontante, que pode, mais tarde, propagar-se encosta acima.

CONCLUSÕES

O levantamento sistemático das boçorocas e ravinas profundas na Bacia do Peixe-Parapanema permitiu buscar algumas correlações regionais entre concentrações desses processos erosivos e fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

Pôde-se verificar que as boçorocas se concentram em formações geológicas areníticas com cimentação carbonática, nos relevos mais movimentados da região, e, ainda, em solos podzólicos de textura arenosa/média e média.

Acredita-se que a correlação mais significativa seja a verificada com os solos, com relação aos quais a geologia e a geomorfologia podem ser considerados, ainda que de modo simplista, apenas fatores predisponentes. As correlações verificadas com os solos concordam com a literatura prévia ao atribuir maior suscetibilidade à formação de boçorocas aos podzólicos de textura arenosa, e menor aos latossolos. Entretanto, levantam um ponto a ser melhor investigado, que é a baixa suscetibi-

lidade apresentada pelos podzólicos de textura argilosa.

Finalmente, o estabelecimento do índice CB para cada unidade de análise (formação geológica, feição geomorfológica e classe pedológica), facilita uma ponderação entre as unidades, servindo como um instrumento adicional para a compartimentação do meio físico, no sentido de estabelecer áreas de risco diferenciadas ao desenvolvimento de boçorocas, de modo a subsidiar atividades de planejamento regional.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao geólogo Fernando Campagnoli, pelo tratamento dos dados de ocorrência de boçorocas.

Ao geólogo Antonio Manoel dos Santos Oliveira pelas sugestões apresentadas.

Ao Ministério das Minas e Energia, através da Secretaria Geral do Projeto RADAMBRASIL, por ceder as cartas bases do Mapa Exploratório de Solos da Folha SF-22/Parapanema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de et alii. Mapa geológico do estado de São Paulo, 1981, 2v. (IPT Monografias 06).
- CHRISTOFOLETTI, A. O fenômeno morfogenético no município de Campinas. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 8(16):3-97, 1968.
- FURLANI, G.M. Estudos geomorfológicos das boçorocas de Casa Branca. São Paulo, Universidade de São Paulo, Departamento de Geografia, 1980, 379p. (Tese, Mestrado).
- LANDIM, P.M.B. et alii. Cenozoic deposits in south central Brazil and the Engineering Geology. In: International Congress of the IAEG, 2, São Paulo. *Proceedings*. São Paulo, IAEG, v. 1, III-II.

- MELO, M.S. de & PONÇANO, W.L. **Gênese, distribuição e estratigrafia dos depósitos cenozóicos no estado de São Paulo.** São Paulo, IPT, 1983, 72p (IPT Publicações 1364, IPT Monografias 09).
- MURATORI, A.M. **Erosão no noroeste do Paraná: uma proposta metodológica de estudo sistemático através do uso de fotografias aéreas.** Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1984, 143p. (Tese, Mestrado).
- OLIVEIRA, A.M.S. et alii. **Questões metodológicas em diagnósticos regionais de erosão: a experiência pioneira da Bacia do Peixe-Paranapanema-SP.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE COMBATE À EROÇÃO, 4., Marília, 1987. **Anais.** (no prelo)
- OKA-FIORI, C. & SOARES, P.C. **Aspectos evolutivos das voçorocas.** *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 16 (32):114-24, 1976.
- PICHLER, E. **Boçorocas.** *B. Soc. Bras. Geol*, São Paulo, 2(1):3-16, 1953.
- PONÇANO, W.L. & PRANDINI, F.L. **Boçorocas no estado de São Paulo: uma revisão.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE COMBATE À EROÇÃO, 4., Marília, 1987. **Anais.** (no prelo)
- POPP, J.H. & BIGARELLA, J.J. **Formações cenozóicas do noroeste do Paraná.** *An. Acad. Bras. Ci.*, Rio de Janeiro, 47:465-72, 1975. (suplemento)
- PRANDINI, F.L. **Occurrence of boçorocas in southern Brazil. Geological conditional of environmental degradation.** In: International Congress of IAEG, 2., São Paulo. **Proceedings.** São Paulo, ABGE, V. 1, T. III-36. (Publicação IPT 1038)
- PROJETO RADAM BRASIL. **Mapa exploratório de solos.** Folha SF-22 Paranapanema. (no prelo)
- RODRIGUES, J.E. **Estudos de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas.** São Carlos. Universidade de São Paulo, 1982, 162p. il. (Tese, Doutorado)
- SETZER, J. **Os solos do estado de São Paulo.** Rio de Janeiro. BGE, CNG, 1949 (Publicações 06, série A "livros").
- VIEIRA, N.M. **Estudos geomorfológicos das boçorocas de Franca-SP.** São Paulo, Universidade de São Paulo, 1978, 226p. il. (Tese, Doutorado)