



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

A IMPORTÂNCIA DA DIFERENCIAÇÃO DOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES DOS TIPOS RAVINA E BOÇOROCA

Gerson Salviano de Almeida Filho¹ & José Teixeira Filho²

RESUMO – A erosão manifesta-se como um fenômeno resultante da ruptura de equilíbrio do meio ambiente, decorrente da transformação drástica da paisagem, por eliminação da cobertura vegetal natural e introdução de novas formas de uso do solo. Dessa maneira, o território brasileiro, ao longo de sua ocupação, vem manifestando não só a erosão correspondente à intensificação da atividade agrícola, mas, também, aquela relativa ao uso urbano do solo. O entendimento do comportamento dos processos erosivos lineares permite destacar dois tipos de maior importância: as ravinas e boçorocas. Uma ravina seria resultado do escoamento superficial, enquanto uma boçoroca seria o canal esculpido pelo afloramento do lençol freático no fundo da incisão, por isso, a diferenciação entre a ravina e a boçoroca tem uma importância na elaboração dos projetos de estabilização.

ABSTRACT– Erosion is expressed as a phenomenon resultant of disruption of balance of the environment due to the drastic transformation of the landscape by removal of natural vegetation cover and introduction of new forms of land use. Therefore, the Brazilian territory, throughout its occupation process, expresses not just the erosion corresponding to the intensification of agricultural activity but also the erosion related to urban land use. The understanding of the behavior of linear erosion allows highlight two more important types: ravines and gullies. A ravine would be the result of runoff while gully would be the channel carved by outcropping of groundwater in the bottom of the incision. Differentiation between the ravine and gully has an importance in the preparation of stabilization projects.

Palavras-Chave – Erosão, Ravina, Boçoroca

1) Doutorando do Programa de Pós Graduação em Geografia, Instituto de Geociência, Universidade de Campinas e Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT – gersaf@ipt.br

2) Orientador, Professor do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade de Campinas. jose@feagri.unicamp.br

1 INTRODUÇÃO

Para apresentar as bases conceituais sobre os condicionantes naturais dos processos erosivos lineares realizou-se um levantamento bibliográfico, abrangendo campos de conhecimentos específicos, que foram relevantes ao desenvolvimento e realização do trabalho. O tema erosão dos solos é tratado por grandes áreas do conhecimento: Agronomia, Engenharia (Civil, Agrícola e Ambiental) Geografia, Geologia e outros. O entendimento do comportamento dos processos permite destacar dois tipos de maior importância: as ravinas e as boçorocas.

2 CONCEITOS DOS PROCESSOS EROSIVOS

Conceitualmente, é importante distinguir os processos de erosão por escoamento laminar dos processos de erosão linear acelerada, que envolve a movimentação de grandes massas de solo e sedimentos, conhecidos no Brasil como sulcos, ravinas e boçorocas ou voçorocas. Para não haver confusões quanto ao que cada conceito se refere, é necessário buscar uma fundamentação teórica dos autores que trabalham na área de erosão de solos, com suas também diferentes formações, e assim deixarem mais claro o que se entende por processos erosivos.

Sudo (2000) e Clayron (1972 *apud* Nishiyama, 1998) concordam com a visão tradicional quanto aos dois tipos de erosão hídrica: laminar e linear. A primeira caracteriza-se pelo escoamento difuso das águas das chuvas. Esse tipo de erosão retira a camada superficial do solo de maneira quase homogênea. É um tipo de erosão quase imperceptível quando do seu início, levando o solo a uma coloração clara e ao descobrimento das raízes das árvores com o seu avanço. A segunda é caracterizada por um escoamento superficial concentrado das águas pluviais, resultando em incisões na superfície do terreno na forma de canais, cuja dimensão e dinâmica podem variar. De acordo com Cerri *et al.* (1997) a erosão linear é um processo decorrente da ação hídrica superficial por fluxo concentrado, definido por três tipos: sulcos, ravinas e boçorocas. Tem-se ainda Bigarella e Mazuchowski (1985), que definem erosão laminar, erosão em sulco, ravinamento e boçoroca. Guerra e Cunha (1994) consideram os tipos de erosão em lençol ou laminar; erosão em ravina; e erosão em boçoroca. Sidorchuk (1999) relata a existência de dois estágios no desenvolvimento de feições erosivas as quais são controladas por diferentes grupos de processos geomorfológicos e assim tem-se o estágio inicial e o estágio final. De acordo com Coelho Netto (1998), a erosão por sulcos, ravinas e voçorocas é causada por vários mecanismos que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais. Todos derivam de rotas tomadas pelos fluxos de água, que podem ocorrer na superfície ou em subsuperfície.

Os conceitos dos processos de erosão linear dos tipos ravina e boçoroca são muito discutidos entre os pesquisadores de várias áreas, principalmente sobre qual seria a importância dessa separação? Mas, para os profissionais da área de engenharia civil a diferenciação tem uma

importância significativa para a elaboração dos projetos de contenção e prevenção, pelo fato da presença de água no interior da boçoroca proveniente do lençol freático.

2.1 Erosão Laminar

O escoamento das águas da chuva pode formar apenas pequenos filetes generalizados em extensas áreas, que provoca a erosão hídrica, denominada por diversos autores como laminar (Bertoni e Lomabardi Neto, 1985); em lençol Guerra (1978), Guerra e Mendonça (2005); e superficial (Bigarella e Mazuchowski (1985), que resulta na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais de solo. Lepsch (1983) considera que erosão laminar significa “erosão em pequenos filetes interligados que não deixam marcas perceptíveis na superfície do solo”. Segundo Carpi Junior (2001) a erosão laminar está associada ao escoamento de água superficial, que também é chamado de *run-off*. A erosão laminar ocorre de forma mais difusa, areal, retirando somente as camadas superficiais do solo, mas podendo abranger extensões espaciais mais expressivas. Pereira *et al.* (2003), definem que a erosão em entressulcos é descrita como o processo de desprendimento das partículas de solo pelo impacto das gotas da chuva, seguido do transporte das partículas pelo escoamento superficial e pela deposição dos sedimentos nos pequenos sulcos ou canais.

Esse tipo de erosão é extremamente atuante em áreas de uso agrícola, onde os solos apresentam-se desnudos em determinadas épocas do ano, antecedendo o período de plantio (Valle Junior, 2008). Nas áreas urbanas, também, ocorre esse tipo de processo durante a expansão das cidades, por meio da abertura de novos loteamentos e pela presença de bairros sem infraestrutura.

De acordo com Salomão (1994) e Castro *et al.* (2004), a água de chuva provoca a erosão laminar por meio do impacto das gotas sobre a superfície do solo, caindo com velocidade e energia variáveis, e por meio de escorrimento da enxurrada. Sua ação erosiva depende da distribuição pluviométrica e sua intensidade. A erosão laminar remove lentamente as finas camadas superficiais do solo de modo imperceptível, que pode ser observada quando, em culturas perenes, as raízes tornam-se expostas.

A erosão laminar muitas vezes causa a remoção por completo do horizonte pedológico superficial (horizonte A), que confere fertilidade aos solos (Bacellar, 2000). O autor ressalta que o seu reconhecimento nem sempre é de fácil percepção, mas há alguns indicadores tais como a exposição na superfície do terreno das raízes das plantas, a visualização da remoção dos horizontes superficiais ou sua sobreposição por colúvios provenientes de erosão remontante e o assoreamento de canais de drenagem. Santos *et al.* (2008) acrescentam que as cercas ficam suspensas e há assoreamento das zonas mais baixas.

Com relação ao selamento, Derpsch *et al.* (1991) concluem que os solos expostos devido à forma de uso e ocupação, apresentam um índice mais elevado de erosão, principalmente onde ocorrem culturas anuais, pois o efeito *splash* desagrega os grumos da camada superficial e acabam “entupindo” (selando) uma boa parte dos poros que são responsáveis pela infiltração. Nesse caso, o escoamento superficial passa a atuar em direção a jusante, mesmo que o solo não esteja saturado.

2.2 Erosão Linear

A erosão por escoamento concentrado pode causar grandes incisões lineares na forma de sulcos, ravinas e boçorocas. Corresponde a um avançado estágio de degradação do solo, cujo poder destrutivo local é superior ao das outras formas, e, portanto, de difícil contenção (Iwasa e Prandini, 1980). O comportamento da água subterrânea (posição do nível d'água, infiltração da água no solo) também constitui importante fator condicionante de erosões em determinadas porções do território paulista (Rodrigues, 1982; IPT, 1986; Salomão, 1994; Almeida Filho, 2000).

2.2.1 Erosão em Sulcos

Sulcos são pequenas incisões em forma de filetes muito rasos representados por áreas onde ocorrem erosão laminar muito intensa. Este processo ocorre nas linhas de maior concentração das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões no terreno. Os sulcos podem passar despercebidos até que comecem a interferir no trabalho de preparo do solo e diminuir sua produtividade. Bigarella e Mazuchowski (1985) definem que a erosão em sulcos sucede a laminar, podendo igualmente originar-se de precipitações muito intensas. As erosões em sulcos são também formadas por concentrações do escoamento que podem formar filetes, mais ou menos profundos, em consequência do volume e velocidade do escoamento superficial. FAO (1967) declara não existir nenhum limite definido que assinale o final da erosão laminar e o começo da erosão em sulcos, enquanto para Canil *et al.* (1995) é uma forma de erosão que se apresenta como pequenas incisões na superfície terrestre em forma de filetes muito rasos, e perpendicular às curvas de nível. Cerri *et al.* (1997) definem o termo sulco quando se pode recuperar o entalhe erosivo por operações normais de preparo do solo, associada à trilha de gado na área rural, e na área urbana em locais de solo exposto devido à movimentação de terra. Para DAEE (1980) os sulcos apresentam profundidade e largura inferiores a cinquenta centímetros e suas bordas pequenas rupturas na superfície do terreno.

A erosão em sulcos pode passar despercebida até que comece a interferir no trabalho de preparo do solo nas áreas agrícolas e nas áreas urbanas ocorrem na fase da implantação dos novos loteamentos e em ruas sem pavimentação. Ribeiro (2001) relata que a forma de erosão em sulcos resulta de irregularidades na declividade do terreno e concentração de enxurradas, provocando

incisões mais ou menos profundas no terreno, onde a velocidade da água causa a ação erosiva, sucedendo a erosão laminar, originando-se de chuvas muito intensas. Possui fácil controle, porém, se os sulcos não forem bem contidos podem aprofundar-se, originando ravinas.

2.2.2 Erosão em Ravina

A ravina é um tipo de erosão que não pode ser obliterada por operações normais de preparo do solo (Cavaguti, 1994 e Canil, 1995 e 2000), sendo desencadeada entre os eixos de drenagens, associada a estradas, trilhas de gado e carregadores. A ravina é um sulco profundo no solo provocado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado, e que não pode ser combatido pelos métodos mais simples de conservação de solo. As ravinas nascem e crescem apenas pelo atrito das águas do escoamento superficial (IPT, 1986). Rego (1987) define que a ravina é “quando há concentração de fluxos d’água em determinados pontos, formando canaletas bem definidas, podendo ser bem perceptíveis nos estágios iniciais de sua formação”, enquanto Guerra e Cunha (1995) definem que a ravina “inicia a uma distância crítica do topo da encosta, onde o escoamento superficial se torna canalizado, podendo ser formada próximo à base onde uma incisão recua em direção ao topo”.

Segundo Oliveira (1994) e Cerri *et al.* (1997), na ravina devem ser considerados mecanismos de erosão que envolvem movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos que provocam o alargamento da feição erosiva e também seu avanço remontante. As ravinas são normalmente de forma alongadas, mais compridas que largas e com profundidades variáveis, normalmente inferiores a dez metros. Raramente são ramificadas e não chegam a atingir o nível d’água subterrânea.

A passagem da erosão por escoamento concentrado (sulcos) a ravinas não se caracteriza por nenhum índice simples. Existe uma tendência que se admite uma profundidade mínima para as ravinas em torno de 30 cm (Tricart *apud* Ponçano e Prandini, 1987) ou 50 cm (Imeson e Kwaad, 1980). Guerra e Cunha (1994) também apresentam uma diferenciação cuja proposta é de que as ravinas podem ser obliteradas por máquinas agrícolas. Fontes e Fontes (1992), no Glossário de Ciência do Solo, estipulam um limite dimensional entre ravinas e voçorocas, no qual estas possuem mais de 0,5 m de largura e de profundidade, podendo chegar a mais de 30 m de comprimento.

Conforme Salomão (1994), ao considerar que os sulcos e ravinas são originados pelo escoamento concentrado das águas superficiais e, ao haver a interceptação do lençol freático, existe uma somatória de processos erosivos superficiais e subsuperficiais, fazendo com que a forma erosiva atinja grandes dimensões e passando a denominar-se boçoroca.

O processo erosivo do tipo ravina geralmente tem um formato em “V”, é retilínea, alongada e estreita e são raras as ramificações, não chegando a atingir o lençol freático e seu desenvolvimento lateral se dá pelo escoamento das águas pluviais no seu interior, provocando erosão no pé do talude e, conseqüentemente, ocorre o deslizamento. O desenvolvimento da ravina evolui de montante para jusante e o escoamento das águas pluviais no seu interior e nos taludes só ocorre quando chove. Ridente Júnior (2000) considera as ravinas como produto do escoamento superficial concentrado, que forma as feições erosivas lineares, e ainda considera que os mecanismos de erosão envolvem movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos nos seus taludes laterais, causados por solapamento de suas bases devido ao escoamento superficial em seu interior, que provoca seu alargamento.

2.2.3 Erosão em Boçorocas ou Voçoroca

Finalmente, o progresso do ravinamento atinge um limiar que é o freático. Nesta etapa, intervêm processos ligados à circulação das águas de subsuperfície, fazendo com que o ravinamento atinja grandes dimensões e passe a ser denominada erosão em boçoroca. A palavra boçoroca provém do tupi-guarani “ibi-çoroc”, e significa terra rasgada (Pichler, 1953), ou então de “mbaê-çorogca”, traduzido como “coisa rasgada” por Furlani (1980). A origem indígena da palavra vem de encontro ao fato de que essas feições são reconhecidas de longa data, sendo descritas pela primeira vez em 1868 por Burton (Ponçano e Prandini, 1987; Furlani, 1980).

A primeira divulgação em nível internacional das boçorocas do centro-sul do Brasil foi realizada em Prandini (1974) e uma revisão dos estudos realizados envolvendo as boçorocas no Estado de São Paulo foi apresentada por Ponçano e Prandini (1987). Esses autores recomendam o aprofundamento dos estudos na caracterização geotécnica dos materiais das áreas afetadas. Segundo Iwasa e Prandini (1982), boçorocas seriam ravinas profundas de erosão, que se originam preferencialmente ao longo de linhas de drenagem, desenvolvendo-se tanto em sedimentos colúviais ou aluviais, como em solo residual, em encostas naturais, por ação erosiva combinada entre as águas superficiais e subterrâneas. Para Bigarella e Mazuchowski (1985) e Canil *et al.* (1995) a ocorrência de formado em “U” é devido ao encontro de horizontes inferiores mais resistentes, com paredes abruptas e, a partir de um determinado ponto, a ravina se encaixa nas rochas adjacentes, constituindo-se na forma máxima de erosão do solo, que são as boçorocas.

A erosão em boçoroca é a mais grave porque envolve mecanismos mais complexos, ligados aos fluxos superficiais e também subsuperficiais da água infiltrada no solo. Frequentemente apresenta fluxo de água livre e contínuo no seu fundo, alimentado pelo “vazamento” do lençol freático, que, nesse caso, foi interceptado pelo rasgo da terra, e que fica minando nas suas paredes

(taludes) na forma de surgências ou através de verdadeiras tubulações naturais chamadas de dutos ou *piping*, como o fenômeno é conhecido internacionalmente (Castro *et al.* 2004). De acordo com Lopes e Guerra (2001), ‘voçoroca’ pode ser compreendida como uma escavação ou rasgão de solo ou rocha decomposta, que permite a exposição do lençol subterrâneo.

A bibliografia é quase unânime em associar o surgimento das boçorocas a alterações no equilíbrio morfo-hidro-pedológico, causado por intervenção humana, especialmente por meio do desmatamento, atividades agrícolas, urbanas e a introdução de novas formas de uso do solo (Ponçano e Prandini, 1987; IPT, 1995). As boçorocas são interpretadas como formas erosivas mais drásticas, observando-se normalmente a ação de águas de superfície e subsuperfície. O processo de erosão do tipo boçoroca é comumente associado aos impactos provocados por atividades antrópicas (Poesen e Govers, 1990; Kosmas, *et al.*, 2002; Kakembo *et al.*, 2003; Keay-Bright *et al.*, 2006; Molina, *et al.*, 2007). Essa associação tende a se refletir na definição das boçorocas, como é o caso daquela adotada pela FAO (1965), na qual são considerados canais nos quais a largura e a profundidade não permitem uma plantação normal.

A grande maioria de trabalhos sobre as boçorocas mostra sua ocorrência associada a formações sedimentares arenosas (Setzer, 1949; Prandini, 1974; Vieira, 1978; Furlani, 1980; Rodrigues, 1982; IPT, 1986; DAEE, 1989). A principal razão do surgimento dos processos erosivos lineares em sedimentos arenosos deve-se, segundo esses trabalhos, ao fato dessas formações apresentarem, em geral, descontinuidades litológicas, favorecendo o desenvolvimento de solos de textura média e arenosa e o aprofundamento da alteração e coesão (Salomão, 1994). Segundo a classificação de Freire (1965), as boçorocas estão enquadradas em movimentos de massas, onde se caracterizam por movimentos e causas múltiplas pela ação de vários agentes simultâneos ou sucessivos. São ravinas profundas de erosão que se originam preferencialmente ao longo de linhas de drenagem, desenvolvendo-se tanto em solo coluvial/aluvial como em solo residual, em encostas naturais.

É fundamental assinalar que, a evolução das formas erosivas conhecidas no Brasil como boçorocas, a ação das águas subterrâneas, como foi destacada há décadas por diversos autores, não tem sido tomada na devida conta na concepção da grande maioria das obras de correção. Aliás, muitas vezes, é a própria erosão interna a responsável direta pela ruína precoce destas mesmas obras (Prandini, 1985; Almeida Filho, 2000). A ação das águas subterrâneas é apontada, há décadas, como bastante frequente, e, não raro, como decisiva para a rápida evolução e para as grandes dimensões destes fenômenos. Marinho (2003), trabalhando no setor sul da Alta Bacia do rio Araguaia também considerou importante a movimentação hídrica interna nos estudos sobre erosão linear, analisando as respostas do lençol freático frente à entrada de fluxos hídricos no sistema, por meio da chuva. Ele constatou, em seu estudo no setor sul da Alta Bacia do Rio Araguaia, que nos períodos chuvosos, o

lençol freático respondia rapidamente às precipitações pluviais em razão da boa drenagem dos solos, se desenvolvendo, ainda, fluxos subsuperficiais lineares em zonas preferenciais, induzindo rápida circulação hídrica, formando possivelmente o *piping* em zonas fraturadas com pequenos reajustes no interior das rochas.

Conforme Prandini (1985) uma explicação para o fato de não se enfrentar a erosão provocada pelas águas no subsolo e outras particularidades específicas, pode ser encontrada nas tecnologias internacionais disponíveis para analisar e corrigir fenômenos, nos quais o controle das águas superficiais do terreno é tido como o único ou mais importante mecanismo de erosão (FAO, 1978; FAO, 1976; Kadry, 1976; OEA, 1972). Como tais técnicas de análise e correção são de domínio universal, e como a ação erosiva das águas do subsolo tem sido registrada muitas vezes como sazonal, permite-se supor que a influência da água subsuperficial, bem como os demais fatores próprios de solos, possam também ter sido subestimados na caracterização de ravinas em outros países com geologia e climas comparáveis às áreas onde, no Brasil, desenvolvem-se as boçorocas.

Esta ação pode ser determinante quando, por meio de "piping", uma surgência d'água dá origem a um túnel (entubamento) simples ou ramificado, o qual gera uma depressão por desabamento do solo que capeia a cavidade (Setzer, 1949; Prandini, 1974 e Furlani, 1980). Tal fato só pode ser detectado nas fases iniciais de sua implantação, pois, em pouco tempo, a própria evolução do fenômeno torna-o indistinguível de uma boçoroca originada por entalhe superficial (Prandini, 1985).

Cavaguti (1993) evidencia a importância do "piping" nos processos geradores de boçorocas na cidade de Bauru. Almeida Filho *et al.* (1993) estudando a evolução acelerada da erosão do Parque Bauru, na área urbana do município de Bauru, também enfatizam a ação complexa e conjunta das águas superficiais e subsuperficiais. Segundo Sá (2001 *apud* Silva, 2003) a ação do *piping* provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo d'água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos e escorregamentos que alargam e criam ramificações.

Na bibliografia, a maioria dos autores menciona o fenômeno do *piping* como o mais importante processo de evolução da boçoroca, mas nestas condições há pouco aprofundamento para entender os mecanismos deste fenômeno. Com base nestes estudos, a ocorrência do *piping* pode ser interpretada considerando-se uma relação com as características hidráulicas dos materiais da zona de percolação das águas subsuperficiais com a característica do gradiente hidráulico, ou do comportamento piezométrico do lençol freático. É fundamental estudar a evolução da boçoroca, mas também entender o comportamento do lençol freático na bacia de contribuição com análise das vertentes.

O *piping* se dá por arraste das partículas de solo ou sedimento do interior do maciço, por força da concentração das linhas de fluxo em regime turbulento, ao longo de descontinuidade: lineamento estrutural, contato interestratos, ou mesmo vazios deixados por atividades biológicas (raízes, animais terrícolas) como apontam Prandini, 1974; Furlani, 1980; IPT, 1986; e DAEE, 1989. Assim, a boçoroca desenvolve vários mecanismos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos e descalçamentos, desabamentos e escorregamentos, que se conjugam no sentido de dotar esta forma de erosão de elevado poder destrutivo. Este poder destrutivo se manifesta de maneira flagrante nas grandes dimensões desta forma de erosão e nas grandes velocidades de avanço, por meio da rápida evolução de seus ramos ativos que atingem edificações, estradas e obras públicas (Santoro, 1991).

3 RAVINA OU BOÇOROCA

A Geologia de Engenharia, “especialização que enfoca as relações biunívocas entre o homem e o meio físico geológico” (Ruiz e Guidicini, 1998), pode e deve cumprir importante papel voltado à minimização dos impactos ambientais e à recuperação do ambiente, agregando as diferentes áreas do conhecimento que respondem pela solução de problemas de engenharia e meio ambiente (Salomão *et al.* 2012). De acordo com Souza (2000), a utilização de alguns termos relativos a feições erosivas oriundas da literatura inglesa no Brasil, tem gerado algumas controvérsias semânticas. Os principais termos adotados por diversos autores são: *sheet erosion* (laminar ou lençol), *rill* (linear), *gully*, *gully erosion* (profunda), *interril erosion* (intersulco), *piping* e *stream bank erosion* (erosão marginal ou de margem).

As erosões do tipo sulco e ravina não apresentam ramificações, em compensação as boçorocas apresentam uma ou várias ramificações integrando-se ao ramo principal, destruindo grandes áreas de pastagens, culturas, bens públicos, moradias e tendo como consequência a jusante o assoreamento das drenagens. Bacellar (2000) também aponta que a classificação mais utilizada no Brasil tem sido a do IPT, que diferencia as ravinas das voçorocas pelo fato da segunda atingir o lençol freático, que implica em hidrodinâmicas diferentes, embora admitam que uma ravina possa evoluir para voçoroca quando o nível do freático é interceptado, o que não significa que a dinâmica de todo o foco erosivo seja esta.

Quanto à denominação ravina ou boçoroca vários pesquisadores (Picheler, 1953; Rodrigues, 1982; IPT, 1986; Cavaguti, 1994; Salomão, 1994 e 1999; Oliveira, 1994; Canil, 2000; Almeida Filho, 2000; Castro *et al.* 2004, Castro, 2005; Almeida *et al.* 2005; Camapum de Carvalho *et al.*, 2006) indicam que a erosão tipo ravina é desencadeada basicamente pelo escoamento concentrado das águas pluviais, enquanto a passagem para boçoroca se dá quando aflora o lençol freático, com tendência a alargar-se e aprofundar-se, até atingir o seu equilíbrio dinâmico. Portanto, a erosão por sulco e ravina ocorre pela ação do escoamento superficial, enquanto a boçoroca é a junção da ação

dos escoamentos superficial e subsuperficial. Na erosão do tipo boçoroca a evolução lateral e remontante por meio de *piping* não requer a ação da chuva, conforme relata Salomão (1999). O fenômeno de *piping* provoca a remoção de partículas do interior do solo formando canais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo de água, podendo dar origem a colapsos do terreno, com desabamentos que alargam a voçoroca ou criam novos ramos. Conforme Bigarella e Mazuchowski (1985), a voçoroca é nitidamente um fenômeno hídrico, envolvendo a ação das águas superficiais e subsuperficiais e o seu início se dá a partir da concentração de água na superfície da vertente, a princípio com pequenos regos, que tendem a evoluir para sulcos e ravinas cada vez mais profundos, até encontrar o lençol freático.

Concordando com Salomão (1994), Almeida Filho e Ridente Júnior, (2001) reafirmam que “o *piping* é uma erosão interna que provoca a remoção de partículas do interior do solo, formando “tubos” vazios que provocam colapsos e escorregamentos laterais do terreno, alargando a voçoroca ou criando novos ramos”. Finalmente há boçorocas que se apresentam conectadas a ravinas em sua cabeceira ou em suas bordas laterais, cuja tendência é de se aprofundarem e se integrarem ao fenômeno do boçorocamento.

Apesar de alguns pesquisadores desconsiderarem a diferença entre ravina e boçoroca, nos últimos anos tem crescido o número de evidências favoráveis à gênese de canais associada à erosão subterrânea nos mais variados ambientes. Na erosão do tipo boçoroca, o desenvolvimento dos processos de alargamento e evolução ocorrem de forma rápida e intensa, sendo considerados como movimentos de massa. Por isso, a diferenciação entre ravina e boçoroca tem uma importância considerável, já que as boçorocas necessitam de medidas de maior envergadura para sua contenção, não raro envolvendo obras de engenharia, principalmente quando atingem cidades e estradas.

Apesar do papel da ação das águas subterrâneas ter sido destacado por vários autores, ele não tem sido considerado nos projetos da maioria das obras de contenção das boçorocas (Prandini, 1974; IPT, 2012). A ação das águas subterrâneas é diretamente responsável pelo insucesso de numerosas obras de engenharia.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, M. C. J. de.; RIDENTE JÚNIOR, J. L.; MONTEIRO, A. C. M. C.; MARINS, A. M. de A. D. (2005). *Soil erosion analysis in the influence área of Tietê Paraná Hydroway (Tietê Branch)*. Sociedade & Natureza, Uberlândia, Special Issue, p. 62-71, May.

ALMEIDA FILHO, G. S. de. *et al.* (1993). *Estudo evolutivo da erosão do Parque Bauru e assoreamento do Ribeirão Vargem Limpa, Bauru, SP*. In: Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul/ X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Gramado, 1993. São Paulo: ABRH, v. 5, p. 294-302.

- ALMEIDA FILHO, G. S. de. (2000). *Diagnóstico de processos erosivos lineares associados a eventos pluviosos no município de Bauru, SP*. 222 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas - Fec/Unicamp, Campinas.
- ALMEIDA FILHO, G. S de.; RIDENTE JÚNIOR, J. L. (2001). *Diagnóstico, prognóstico e controle de erosão*. In: Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001. Apostila.
- BACELLAR, L. de A. P. (2000). *Condicionantes geológicas, geomorfológicas e geotécnicas dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, MG*. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. (1985). *Conservação do solo*. Piracicaba: Livroceres. 392 p.
- BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. (1985). *Visão integrada da problemática da erosão*. In: Anais do III Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Maringá, 1985. Livro Guia. Maringá: ABGE. 332 p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SOUZA, N. M.; SALES, M. M.; SILVA, M. T. da. (2006). *Processos erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*. Brasília, DF: Editora FINATEC. p. 39-88.
- CANIL, K. (2000). *Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP*. 96 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CANIL, K.; IWASA, O. Y.; SILVA, W. S. da.; ALMEIDA FILHO, G. S. de. (1995). *Mapa de feições erosivas lineares do Estado de São Paulo: uma análise qualitativa e quantitativa*. In: Anais do V Simpósio Nacional sobre Controle de Erosão, Bauru, 1995. São Paulo: ABGE. p. 249 - 251.
- CARPI JUNIOR, S. (2001). *Processos erosivos, riscos ambientais e recursos hídricos: estudo de caso na bacia do Mogi-Guaçu*. 2001. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro.
- CASTRO, S. S. de. (2005). *Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual*. Revista do Departamento de Geografia, USP, São Paulo, n. 17, p. 38-60.
- CASTRO, S. S. de.; XAVIER, L. de S.; BARBALHO, M. G. da S. (Org.). (2004). *Atlas geoambiental das nascentes dos rios Araguaia e Araguainha - condicionantes dos processos erosivos lineares*. Goiânia: Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás. 75 p.
- CAVAGUTI, N. (1993). *Degradação do solo urbano por erosão e assoreamento em Bauru, SP*. In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Poços de Caldas, 1993. São Paulo: ABGE. v. 3.
- CAVAGUTI, N. (1994). *Erosões lineares e solos urbanos: estudos, caracterização e análise da degradação do meio físico em Bauru, SP*. 548 p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia e Tecnologia, Unesp, Bauru.
- CERRI, L. E. S.; SILVA, J. A. F.; SANTOS, P. H. P. (1997). *Erosão do solo: aspectos conceituais*. Revista Universidade Guarulhos. Geociências, II (6). p. 92-98.

COELHO NETTO, A. L. (1998). *Diagnóstico de erosão para planejamento regional: subsídios metodológicos sob o enfoque geo-hidrogeológico*. In: Anais do VI Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Presidente Prudente, 1998. CD-ROM.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. (1980). *A atuação do DAEE no combate à erosão urbana do Estado de São Paulo*. Diretoria de Obras do Departamento de Águas e Energia Elétrica. In: Simpósio sobre o Controle de Erosão, Curitiba - PR, 1980. Curitiba: ABGE. p. 05-34.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (1989). *Controle de erosão; bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. 2. ed. São Paulo: DAEE/ IPT/ Secretaria de Energia e Saneamento. 92 p. il.

DERPSCH, R.; ROTH, C.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. (1991). *Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn, Alemanha: GTZ, 1991. 272 p.

FAO - FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. (1965). *Soil erosion by water: some measures for its control on cultivated lands*. Rome: FAO/UNESCO.

FAO - FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. (1967). *La erosion del suelo por el agua; algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. Roma: FAO. 204 p. (FAO. Coleccion FAO: Fomento de Tierras y Aguas, 7).

FAO - FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. (1976). *Lucha contra las carvacas*. In: *Conservación de suelos para los países en desarrollo*. Roma, p. 83-86. (Boletín de Suelos de la FAO, n. 30).

FAO - FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. (1978). *La erosion del suelo por el agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. Roma, 1978. 207 p. (Coleccion FAO: Fomento de Tierras y Aguas, n. 7).

FONTES, L.E.F.; FONTES, M. P. F. (1992). *Glossário de ciência do solo*. Viçosa: Departamento de Solos/Universidade Federal de Viçosa.

FREIRE, E. S. M. (1965). *Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática*. Construção, Rio de Janeiro, (95), p. 10-18.

FURLANI, G. M. (1980). *Estudo geomorfológico das boçorocas de Casa Branca*. São Paulo. 379 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo.

GUERRA, A. J. T. (1978). *Dicionário geológico-geomorfológico*. 5. ed. Rio de Janeiro: IBGE. 446p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). (1994). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Russel. 458 p.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (1995). *Degradação ambiental*. In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 455 p.

- GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. (2005). Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). *Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 225-256.
- IMESSON, A. C.; KWAAD, F. J. P. M. (1980). *Gully types and gully prediction*. K.N.A.G. Geografisc Tijdschrift, v. 14, n. 5, p. 433-441.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1986). *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe/ Paranapanema*. São Paulo: IPT/ DAEE. 6v. (Relatório Técnico, 24 739).
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1995). *Erosão no Estado de São Paulo*. São Paulo. (Relatório Técnico, 33 402).
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (2012). *Cadastramento de erosão e inundação no Estado de São Paulo*. São Paulo. (Relatório Técnico, 127 824-205).
- IWASA, O. Y.; PRANDINI, F. L. (1980). *Prevenção e correção de fenômenos erosivos: as boçorocas, exemplo da necessidade de diagnose*. Geologia Ciência - Técnica, CEPEGE, USP, n. 7, p. 23-53.
- KADRI, L. T. (1976). Environmental perspectives of land use policy in relation to soil and water conservation. In: FAO - FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION. *Soil conservation and management in developing countries*. Rome. p. 197-208.
- KAKEMBO, V.; XANGA, W.W.; ROWNTREE, K. (2009). Topographic thresholds in gully development on the hillslopes of Ngqushwa communal areas in Local Municipality, Eastern Cape, South Africa. *Geomorphology*, 110, p. 188-194.
- KEAY-BRIGHT, J.; BOARDMAN, J. (2006). Changes in the distribution of degraded land over time in the central Karoo, South Africa. *Catena*, 67, p. 1-14.
- KOSMAS, C.; DANALATOS, N. G.; LÓPEZ-BERMÚDEZ, F.; ROMERO DIAZ, M. A. (2002). The effect of land use on soil erosion and land degradation under Mediterranean conditions. In: GEESON, N. A.; BRANDT, C. J.; THORNES, J. B. (Ed.). *Mediterranean desertification: a mosaic of processes and responses*. Wiley, Chichester. p. 57-70.
- LEPSCH, I. F. (Coord.). (1983). *Manual para o levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. Campinas: SBCS. 175 p.
- LOPES, S. L; GUERRA, A. J. T. (2001). *Monitoramento de voçorocas por satélites GPS em áreas de areia quartzosa podzolizada: Praia Mole, Florianópolis-SC*. In: Anais do VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia-GO, 2001, v. 1, n. 1, p. 106.
- MARINHO, G. V. (2003). *Caracterização físico-hídrico e da suscetibilidade erosiva linear dos solos da sub-bacia do córrego Queixada, na Alta Bacia do Rio Araguaia, GO*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade federal de Goiás.

MOLINA, A.; GOVERS, G.; VANACKER, V.; POESEN, J.; ZEELMACKERS, E.; CISNEROS, F. (2007). *Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: interaction of vegetation cover and land use*. Catena, 71, p. 357-370.

NISHIYAMA, L. (1998). *Procedimento de mapeamento geotécnico como base para análise e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1: 100.000: aplicação no município de Uberlândia*. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

OEA - ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. (1972). *Relatório do estudo para o controle da erosão no Noroeste do Estado do Paraná*. Curitiba: Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 107 p.

OLIVEIRA, A. M. dos. S. (1994). *Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivara, rio Paranapanema, SP/ PR*. 211 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, São Paulo.

PEREIRA, S. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; MATOS, A. T. (2003). *Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 7, n. 3, p. 423-429.

PICHLER, E. (1953). *Boçorocas*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, 2 (1), p. 3-16. Maio.

POESEN, J.; GOVERS, G. (1990). Gully erosion in the loam belt of Belgium: typology and control measures. In: BOARDMAN, J.; FOSTER, D. L.; DEARING, J. A. (Ed.). *Soil erosion on agricultural land*. Wisley, UK. p. 513-530.

PONÇANO, W. L.; PRANDINI, F. L. (1987). *Boçorocas no Estado de São Paulo: uma revisão*. In: Anais do IV Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Marília, 1987. São Paulo: ABGE. p. 149-177.

PRANDINI, F. L. (1974). *Occurrence of boçorocas in Southern Brazil: geological conditioning of environmental degradation*. In: International Congress of The IAEG, 2, 1974, São Paulo. Proceedings... São Paulo: ABGE, v. 1, tema 3, trab. 36. (IPT. Publicação, 1 038).

PRANDINI, F. L. (1985). *Erosão: particularidades dos ravinamentos*. In: Peculiarities of geotechnical behavior of tropical lateritic and saprolitic soils, 1985, São Paulo. Progress Report... São Paulo: ABMS. Tema 3.

REGO, J. J. V. (1987). *Erosão superficial em taludes de corte em solo residual de gnaiss*. 125 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RIBEIRO, J. CORREA. (2001). *A Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e prevenção dos processos erosivos lineares da bacia hidrográfica do Alto Rio da Casca*. 107 p. Dissertação (Mestrado) - FAMEV-UFMT.

RIDENTE JUNIOR, J. L. (2000). *Prevenção e controle da erosão urbana: bacia do Córrego do Limoeiro e bacia do Córrego do Cedro. Município de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP*. 108 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

RODRIGUES, J. E. (1982). *Estudo de fenômenos erosivos acelerados: boçorocas*. 162 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.

- RUIZ, M. D.; GUIDICINI, G. (1998). Introdução. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (Ed.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p.1.
- SALOMÃO F. X. de T. (1994). *Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural*. 200 p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, FFLCH, USP, São Paulo.
- SALOMÃO, F. X. de T. (1999). Controle e preservação dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. B.; BOTELHO, R. C. M. *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- SALOMÃO, F. X. de T.; CANIL, K.; RODRIGUES, S. P. (2012). *Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos*. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo, v. 2, n. 2, Dez.
- SANTORO, J. (1991). *Fenômenos erosivos acelerados na região de São Pedro, SP, estudo da fenomenologia, com ênfase geotécnica*. 140 p. Tese (Mestrado) Unesp - Rio Claro.
- SANTOS, F. P.; BAYER, M.; CARVALHO, T. M. de. (2008). *Compartimentação pedológica da bacia do rio dos Bois, municípios de Cezarina, Varjão, Guapó e Palmeiras de Goiás (GO), e sua relação com a suscetibilidade e risco à erosão laminar*. Boletim Goiano de Geografia, v. 28, n. 2, p. 103-124, Jul./Dez.
- SETZER, J. (1949). *Os solos do Estado de São Paulo; relatório técnico com considerações práticas*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 387 p.il. (Biblioteca Geográfica Brasileira, Publicação, 6).
- SIDORCHUK, A. (1999). *Dynamic and static models of gully erosion*. Catena, n. 37. p. 104-414. Elsevier.
- SILVA, A. F. da. A. (2003). *Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego Tuncum, São Pedro, SP, escala 1:10.000*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos.
- SOUZA, M. L. de. (2000). *Estudos geológico-geotécnicos de feições erosivas voltados à tomada de procedimentos de decisões quanto a medidas corretivas, mitigadoras e preventivas: aplicação no município de Umuarama - PR*. Dissertação (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- SUDO, H. (2000). Processos erosivos e variabilidade climática. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Org). *Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas*. Maringá: Eduem.
- VALLE JUNIOR, R. F. do. (2008). *Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba*. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.
- VIEIRA, N. M. (1978). *Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca, SP*. Franca. 226 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Franca.