



## Processos Erosivos Lineares no Estado de São Paulo<sup>(1)</sup>.

Gerson Salviano de Almeida Filho<sup>(2)</sup>; Samuel Barsanelli Costa<sup>(3)</sup>; Zeno Hellmeister Júnior<sup>(4)</sup>; Claudio Luiz Ridente Gomes<sup>(5)</sup>; Aluizio de Souza Frota<sup>(6)</sup>

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

<sup>(2)</sup> Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, São Paulo; [gersaf@ipt.br](mailto:gersaf@ipt.br); <sup>(3)</sup> Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, São Paulo; [sbcosta@ipt.br](mailto:sbcosta@ipt.br); <sup>(4)</sup> Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, São Paulo; [zenohell@ipt.br](mailto:zenohell@ipt.br); <sup>(5)</sup> Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, São Paulo; [aranha@ipt.br](mailto:aranha@ipt.br); <sup>(6)</sup> Técnico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, São Paulo; [afrota@ipt.br](mailto:afrota@ipt.br).

**RESUMO:** Este trabalho apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento do projeto de Cadastramento de Pontos de Erosão no Estado de São Paulo, cujo objetivo principal foi subsidiar o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE, ligado à Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos, com elementos básicos para o planejamento de programas e ações voltadas ao equacionamento dos problemas causados pelas erosões lineares (ravina e boçoroca), urbanas e rurais, de todo o território do Estado de São Paulo.

Em síntese, foram realizadas as seguintes atividades: a caracterização geral do meio físico do Estado; a descrição do estado da arte dos processos erosivos lineares (ravina e boçoroca); a caracterização do uso e ocupação do solo no Estado; o levantamento dos processos erosivos lineares em áreas urbanas/rurais, nos municípios e distritos do Estado; uma avaliação do impacto das erosões nas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos; uma proposição metodológica de análise de risco de processos erosivos em relação ao meio urbano; e a elaboração de diretrizes para estabilização ou recuperação de processos erosivos.

Os trabalhos realizados permitiram a identificação de 1.398 processos erosivos lineares em áreas urbanas e 39.864 processos erosivos lineares em áreas rurais, gerando-se informações que permitiram caracterizar ravinas e boçorocas de diferentes tipos quanto à origem e forma de ocorrência, bem como relacionar os principais condicionantes do meio físico e as áreas de concentração desse tipo de processo no Estado.

**Termos de indexação:** Ravina; Boçoroca ou Voçoroca; São Paulo

### INTRODUÇÃO

As primeiras ocorrências de erosões urbanas expressivas, conhecidas no Brasil, foram identificadas nas regiões Sul e Sudeste, e datam de cerca de 60 anos no Oeste de São Paulo, e 40 anos no Noroeste do Paraná, coincidindo, praticamente, com o ápice do processo de colonização e

ocupação dessas regiões, manifestando-se após o desmatamento intensivo para o plantio de café, algodão e amendoim, e a instalação dos núcleos urbanos, ao longo das rodovias e ferrovias.

No Estado de São Paulo, a maior parte das cidades, instaladas em terrenos constituídos por solos de textura arenosa e relativamente profundos (bem desenvolvidos), apresenta feições erosivas do tipo ravinas e boçorocas em suas áreas urbanas. O processo de ocupação por meio de ações não planejadas, quando conduzido de forma extensiva, provoca degradação ambiental e pode deflagrar processos erosivos. O problema da erosão está, portanto, diretamente relacionado às condições precárias de infraestrutura urbana, projetos mal concebidos e práticas de parcelamento do solo inadequadas.

Nas áreas rurais, por sua vez, a erosão é causada principalmente pelas mudanças no uso e ocupação do solo, em geral, de áreas florestais para culturas agrícolas. Embora nas áreas rurais a erosão laminar seja predominante, ocorrem também processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e boçorocas) expressivos.

Dessa forma, os levantamentos dos processos erosivos lineares proporcionou o entendimento sistemático da distribuição no Estado de São Paulo a necessidade de ações de combate à erosão urbana e rural, que possam ser priorizadas ao nível preventivo e corretivo, para reverter ou reduzir esse quadro de degradação do solo e seus impactos sobre os recursos hídricos.

### CONCEITOS DOS PROCESSOS EROSIVOS

A erosão corresponde ao processo de desgaste da superfície do terreno, desencadeado pelo escoamento da água superficial com caráter mais contínuo e gradativo, por meio da desagregação, transporte e deposição dos materiais alterados que compõem o solo (IPT, 2012).

Os processos erosivos lineares resultam da ruptura do equilíbrio ambiental, quando ocorre uma transformação significativa da paisagem, iniciada com a retirada da cobertura vegetal para ceder lugar a outras formas de uso do solo. Esses processos se



manifestam na forma de sulcos, ravinas e boçorocas.

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 simples de conservação do solo. As ravinas são feições de maior porte, profundidade variável, de forma alongada e não atingem o nível d'água subterrânea, onde atuam mecanismos de desprendimento de material dos taludes laterais e transporte de partículas do solo. São raras as ramificações e não atinge o lençol freático. Sua evolução ocorre de montante para jusante e o escoamento das águas pluviais só ocorre no seu interior e nos taludes, quando chove.

As boçorocas representam a forma de erosão mais complexa e mais destrutiva no quadro evolutivo da erosão linear. São ocasionadas pela articulação entre erosão ocasionada por escoamento d'água superficial concentrado, e subsuperficial, com erosão interna ("piping") provocada pela concentração de água do nível freático, que se caracteriza pelo avanço para o interior do solo na forma de tubos (erosão interna). Envolvem mecanismos complexos, associados ao fluxo da água superficial e subsuperficial que se infiltra no solo. Dessa forma, seu poder destrutivo local é superior ao das outras formas de erosão e, portanto, de mais difícil contenção. Possuem dimensões significativas, superiores às ravinas, e avançam a grande velocidade, por meio de ramificações que atingem edificações, estradas e obras públicas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A identificação dos processos erosivos urbanos foi efetuada em todos os 645 municípios do Estado, e seus respectivos distritos, por meio da interpretação visual das imagens dos diversos satélites disponíveis no software Google Earth, associada à análise das características do relevo utilizando-se as Cartas Topográficas do IBGE, na escala 1:50.000. As feições erosivas identificadas por meio da interpretação visual foram submetidas à avaliação, cujas informações foram sistematizadas em bancos de dados, a fim de se caracterizar os processos quanto à origem e forma de ocorrência, bem como relacioná-los aos principais condicionantes de meio físico. Para as erosões urbanas, as visitas de campo foram conduzidas em todo o Estado, com o objetivo de validar o método e incorporar maior aprimoramento ao produto final, permitindo a identificação de possíveis erros na interpretação das imagens orbitais, melhor consistência nas informações do banco de dados e a obtenção de um acervo de imagens, com registro fotográfico atual dos processos erosivos (IPT, 2012).

Com relação aos processos erosivos rurais, o levantamento foi conduzido no interior dos limites municipais (excetuadas as manchas urbanas), por meio de interpretação visual do foto-mosaico do Projeto de Atualização Cartográfica do Estado de São Paulo – Mapeia SP, desenvolvido pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA, 2011). As imagens foram sistematicamente avaliadas, em ambiente SIG, buscando-se indícios de processos erosivos. As Cartas Topográficas do IBGE, disponíveis na escala 1:50.000, foram igualmente utilizadas para dirimir dúvidas quanto ao padrão do escoamento superficial. As feições erosivas identificadas por meio da interpretação visual foram submetidas à avaliação, a fim de se caracterizar os processos quanto à origem e forma de ocorrência, cujas informações foram sistematizadas em um banco de dados.

É importante destacar que, neste estudo, entende-se por processo erosivo urbano aquele deflagrado por ação das águas pluviais urbanas, ou seja, feições erosivas desencadeadas (ou aceleradas) pelo escoamento superficial das águas pluviais provenientes dos sistemas de micro e macrodrenagem urbana, por fluxos concentrados (tubulações e galerias) ou não.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Por meio dos trabalhos de levantamento, foi cadastrado um total de 1.398 processos erosivos nas áreas urbanas de 326 municípios (e respectivos distritos) do Estado de São Paulo (**Figura 2**). Dentre os municípios com maior número de processos erosivos urbanos, destacam-se Franca (56), Botucatu (55), Presidente Prudente (49), Marília (48), Bauru (42), Monte Alto (39), Campinas (36), Álvares Machado (31), São José do Rio Preto (27), Catanduva (27) e Adamantina (22). Os demais municípios apresentam números inferiores a 20 processos erosivos cadastrados em suas áreas urbanas.

Da totalidade dos municípios do Estado, em 319 não se constataram processos erosivos urbanos. E sobre essa afirmação, é necessário considerar o método de abordagem. Foram foco do trabalho apenas os processos erosivos lineares do tipo ravina e boçoroca, devido à dificuldade de se identificar, por meio de interpretação visual de imagens orbitais, os processos laminares e os processos lineares do tipo sulco. Além disso, a resolução espacial das imagens limita as mínimas dimensões identificáveis. Por fim, o fator temporal deve também ser considerado, uma vez que processos erosivos são dinâmicos e novas manifestações podem ter surgido, ou pequenas ocorrências terem evoluído, em data posterior à das



imagens utilizadas para cadastro.

Dos 1.398 processos cadastrados, 949 foram classificados como boçorocas e 449 como ravinas. A predominância de boçorocas é um forte indicio de que a forma de ocupação e disciplinamento da drenagem do solo, no espaço urbano, tem propiciado o aparecimento de erosões de grande porte, que com frequência atingem o lençol freático. Essa é uma avaliação importante, uma vez que as boçorocas apresentam uma dinâmica de evolução mais intensa e acelerada que as ravinas.

No caso específico dos processos erosivos lineares do tipo boçoroca, em áreas urbanas, há uma maior preocupação devido à ação da água subterrânea no fundo e nos taludes do processo, que acelera sua evolução pela formação de *piping*, colocando em risco moradias e equipamentos públicos. Nos períodos chuvosos, com o incremento das vazões e variações do nível freático, a dinâmica de evolução é ainda mais acelerada.

Os processos erosivos urbanos estão associados diretamente à falta de planejamento dos municípios com relação as áreas de expansão e na deficiência da infraestrutura urbana. Boa parte das ravinas e boçorocas que se desenvolvem na área urbana e periurbana (áreas de contato urbano/rural) estão vinculadas aos lançamentos das águas pluviais em cabeceiras de drenagens, em pequenos vales, e lançamentos do sistema viário. As erosões são provocadas pela concentração das águas pluviais nesses pontos sendo suficiente para agravar e acelerar o desenvolvimento dos processos em vários municípios. Muitas vezes os municípios disciplinam adequadamente os sistemas de captação dessas águas mas, no ponto de lançamento, não são realizadas obras terminais de dissipação para diminuir a velocidade de escoamento, além do fato de haver carência de manutenção dessas obras.

No que se refere à erosão rural, cadastrou-se 39.864 processos erosivos nas áreas rurais de 593 municípios do Estado de São Paulo (**Figura 2**). Dentre os municípios com maior número de processos erosivos rurais, destacam-se Marília (651), Presidente Prudente (618), Pompéia (536), Martinópolis (518), Itapetininga (506), Presidente Bernardes (473), Piracicaba (431), Santo Anastácio (424), Conchas (416) e Itararé (413).

Dos 39.864 processos cadastrados, 30.004 foram classificados como boçorocas e 9.860 como ravinas. A predominância de boçorocas é um forte indicio de que a forma de uso agrícola do solo, sem emprego de técnicas de conservação, tem propiciado o aparecimento de erosões de grande porte que, com frequência, atingem o lençol freático, mobilizando grandes volumes de solo que, em última instância, aportam nas principais drenagens das bacias

hidrográficas, provocando danos ambientais e econômicos.

Da totalidade dos municípios do Estado, apenas 52 não apresentaram processos erosivos rurais cadastrados. Sobre essa afirmação valem as mesmas considerações, acerca do método, feitas para os processos erosivos urbanos, quais sejam: cadastro apenas dos processos erosivos lineares do tipo ravina e boçoroca (pela dificuldade de se identificar processos lineares do tipo sulco e os laminares); limite mínimo de dimensões identificáveis (imposto pela resolução das imagens aéreas utilizadas); e o fator temporal (associado à data de aquisição das imagens).

As erosões em áreas rurais estão diretamente relacionadas ao desmatamento e ao manejo inadequado do solo, sem práticas conservacionistas que, associados à suscetibilidade do meio físico, justificam os elevados números apresentados no diagnóstico. Observa-se também a ocorrência desses processos associados a obras viárias (rodovias, estradas vicinais e ferrovias) e outras formas modificadoras do relevo (caminhos, carreadores, cercas, áreas de empréstimos, etc.), que alteram a dinâmica do escoamento superficial, concentrando o escoamento das águas pluviais e desencadeando as erosões.

Em geral, as obras de drenagem de rodovias e ferrovias apresentam problemas em suas porções terminais, por vezes com ausência de estruturas de dissipação de energia da água ou com estruturas ineficientes. Os processos erosivos desencadeados nesses locais podem evoluir de forma remontante e colocar as rodovias e ferrovias em risco. Outro problema marcante é a formação de ravinas e boçorocas por reativação de cabeceiras de drenagens, devido à alteração das condições hidrológicas das bacias de contribuição à montante, seja pelo intenso desmatamento induzido pela expansão das áreas agrícolas, seja por falta de práticas conservacionistas de solo. Processos erosivos desse tipo apresentam porte expressivo e podem evoluir em diversos ramos laterais.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este quadro de desequilíbrio da natureza continuará enquanto a ocupação agrícola não adotar as práticas conservacionistas adequadas e respeitar a capacidade de uso das terras; e enquanto na área urbana a ocupação não for planejada e não considerarem o conhecimento do meio físico (pedologia, geomorfologia e geologia/geotecnia), dos recursos da água, clima, e das suas potencialidades e limitações. A adoção de instrumentos técnicos é fundamental, pois constituem a base sobre a qual o poder público deve

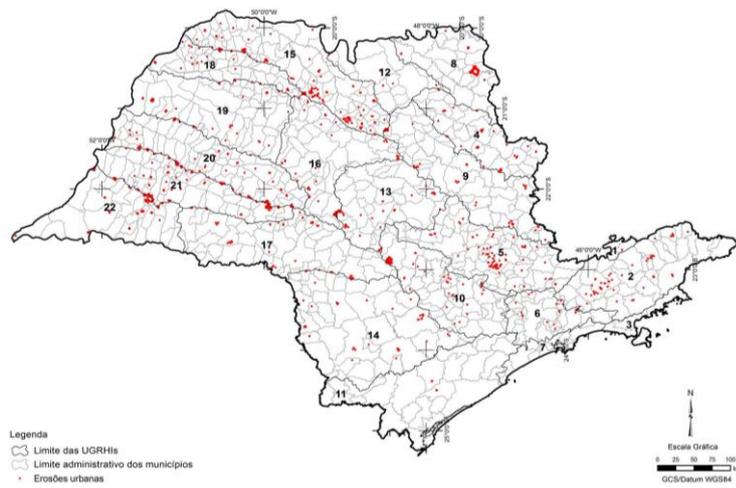
estabelecer as medidas preventivas e correções dos processos erosivos.

Por fim, espera-se que os resultados desse trabalho sirvam de subsídio a ações de planejamento em diversas escalas de trabalho, sobretudo através dos Comitês de Bacias Hidrográficas, buscando a definição de regiões prioritárias para a prevenção e o controle dos processos erosivos e o desenvolvimento de estudos e projetos detalhados que venham a contribuir efetivamente com a conservação dos recursos hídricos e a melhoria da qualidade de vida nas áreas

urbanas e rurais dos municípios do Estado de São Paulo.

## REFERÊNCIA

a. Relatório Técnico  
INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT . 2012. *Cadastramento de erosão e inundação no Estado de São Paulo*. São Paulo. (IPT. Relatório 131.057-205).



**Figura 1** – Distribuição dos processos erosivos lineares (ravina e boçoroca) em área urbana

**Figura 2** – Distribuição dos processos erosivos lineares (ravina e boçoroca) em área rural.

