



IV SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade

International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317 - 8302

EROSÃO REMONTANTE NAS CABECEIRAS DO CÓRREGO SANTA CRUZINHA – SP/BRASIL: CONTRIBUIÇÕES À GESTÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

CRISTIANO CAPELLANI QUARESMA

UNINOVE – Universidade Nove de Julho

quaresmacc@uninove.br

ARCHIMEDES PEREZ FILHO

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

archi@ige.unicamp.br

Ao CNPq; Ao CIS - UNINOVE e ao IG - UNICAMP



EROSÃO REMONTANTE NAS CABECEIRAS DO CÓRREGO SANTA CRUZINHA – SP/BRASIL: CONTRIBUIÇÕES À GESTÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Resumo

A erosão dos solos afeta a sustentabilidade das terras, haja vista que impacta as esferas econômica, social e ambiental. Exemplos diversos de impactos relacionados ao tema podem ser observados nas principais bacias hidrográficas do oeste do estado de São Paulo. A realização de estudos técnicos que definam o tipo de erosão existente e sua evolução torna-se indispensável ao direcionamento correto de políticas públicas relacionadas a práticas de conservação e de recuperação das áreas degradadas. Neste sentido, o presente trabalho objetivou identificar a existência de processos de erosão remontante em canais de primeira ordem e analisar sua evolução nas cabeceiras do Córrego Santa Cruzinha – SP/Brasil. Para tanto, realizou-se análise comparativa da rede de drenagem de 1962 e 2010, com base em fotointerpretação, geoprocessamento e análise morfométrica com base nos índices Dd e Dh. Os resultados permitiram comprovar a existência erosão à remontante indicando reativação da rede de drenagem. Espera-se que, com base nos resultados ora apresentados e discutidos, a área de estudo venha a se tornar alvo de maior atenção por parte de futuros trabalhos e de políticas públicas que visem a gestão e o ordenamento do uso e ocupação, bem como a indicação de práticas de manejo mais adequadas.

Palavras-chave: Erosão dos Solos; Bacias hidrográficas; Rede de drenagem; Sustentabilidade; Gestão de áreas degradadas;

Abstract

Soil erosion affects the lands' sustainability and impacts the economy, society and the environment. Several examples of impacts related to the theme can be observed in the major river basins of the western state of São Paulo. The technical studies that define the type of existing erosion and its evolution is indispensable to the correct direction of public policies related to conservation practices and recovery of degraded areas. In this sense, this study aimed to identify the existence of remnant erosion in first-order channels and their evolution in the headwaters of Stream of Santa Cruzinha - SP / Brazil. To this end, there was comparative analysis of the drainage network in 1962 and 2010, based on photo-interpretation, GIS and morphometric analysis based on Dd and Dh indexes. The results allowed to prove the existence of erosion in the drainage headwaters indicating reactivation of the drainage network. It is expected that, based on the results presented and discussed, the study area may receive more attention by future works and public policies interested in management of land's uses and in the indication of more appropriate management practices.

Keywords: Soil erosion; Watersheds; Drainage network; sustainability; Management of degraded areas.



1 Introdução

A perda dos solos, provocada pela ação da erosão constitui-se em um grande problema de sustentabilidade, haja vista que impacta as esferas econômica, social e ambiental.

Na esfera econômica, provoca a redução da fertilidade das terras agricultáveis, exigindo maiores investimentos em insumos destinados à correção nutricional dos solos. Além disso, reflete diretamente na produtividade da terra, impactando o PIB nacional, que depende fortemente do setor agropastoril.

Com relação à esfera social, a perda de solos agricultáveis constitui-se em um dos motivos mais sérios de escassez de alimento em diversas áreas do planeta. As consequências negativas desta perda certamente recaem com maior intensidade sobre a população mais carente.

Na esfera ambiental, a erosão impacta todo o ecossistema terrestre, tendo em vista que degrada o meio de desenvolvimento das plantas, as quais se constituem na base de toda cadeia alimentar. Também afeta os ecossistemas aquáticos devido ao assoreamento de canais fluviais, prejudicando a qualidade das águas e a vida dos seres que nela vivem, ou que dela dependem. Além disso, o assoreamento também prejudica a sociedade, tendo em vista que impõe obstáculos aos sistemas de coleta e abastecimento de água em áreas rurais e urbanas.

Tais impactos podem ser observados claramente nas principais bacias hidrográficas do oeste do estado de São Paulo, dentre as quais se destaca a bacia do Córrego Santa Cruzinha, afluente do baixo curso da bacia do Rio Santo Anastácio.

Diante desses problemas, grande ônus tem sido imputado à sociedade e ao poder público, os quais se veem obrigados a realizar grandes investimentos financeiros e em trabalho, para fins de controle e mitigação dos processos erosivos existentes.

Isto revela a importância de estudos que visam entender a gênese e dinâmica dos processos erosivos desenvolvidos na região, especialmente para o poder público, que, em muitos casos, carece de trabalhos técnicos que auxiliam na tomada de decisões em relação ao adequado enfrentamento do problema.

A definição do tipo de erosão e a caracterização de sua evolução são elementos indispensáveis à escolha das práticas de conservação e recuperação adequadas ao problema.

Grande parte dos estudos existentes sobre erosão de solos em bacias hidrográficas do Oeste do estado de São Paulo se concentram nas incisões lineares desenvolvidas ao longo das vertentes. Outros, porém têm apontado para a intensa erosão exercida nos canais fluviais, os quais indicam retomada erosiva remontante, com nítido aprofundamento das calhas fluviais e aumento de número e comprimento de canais de primeira ordem.

Na tentativa de contribuir para com tais estudos o presente trabalho tem por objetivo verificar a evolução da rede de drenagem com vistas a identificar a existência de processos de erosão remontante em canais de primeira ordem das cabeceiras do Córrego Santa Cruzinha – SP/Brasil.

Espera-se, assim, que os resultados apresentados permitam uma melhor visualização do estado erosivo da bacia em estudo, possibilitando subsidiar futuros trabalhos, bem como políticas públicas e ações privadas que visem controlar a perda de solos e os processos de assoreamento de ocorrência generalizada na região.



2 Referencial Teórico

2.1 O problema da erosão dos solos

O problema da erosão é antigo na história da humanidade, aparecendo desde as grandes civilizações. Além disso, encontra-se difundido por várias regiões do planeta e sua aceleração tem ocorrido ao longo de todos os anos pelas práticas erradas de uso e ocupação das terras. (GUERRA, 1999)

Segundo Press et al. (2006), a erosão trata-se do conjunto de processos que desagregam e transportam solo e rochas morro abaixo ou na direção do vento, depositando-o em outro lugar. Deste modo, tal processo, ao lado da tectônica, do vulcanismo e do intemperismo, é considerado pelos autores como sendo importante no ciclo das rochas, na modelagem da superfície terrestre, na transformação de rochas em sedimentos e na formação dos solos.

De acordo com o parágrafo anterior, é possível verificar que a erosão se trata de um processo natural, entretanto, o uso e ocupação desenfreados das terras por parte da sociedade têm rompido o equilíbrio natural das mesmas, especialmente pela remoção da cobertura vegetal natural, gerando assim processos erosivos mais intensos e acelerados.

Entende-se por erosão acelerada, conforme definição apontada por Quaresma (2013), o desprendimento e o arraste acelerado das partículas do solo por ação da água e/ou de outros agentes de transporte, porém desencadeadas pela interferência antrópica no funcionamento do sistema natural, constituindo-se na principal causa de depauperamento acelerado das terras.

No Brasil, apesar de se tratar de um país privilegiado em terras agricultáveis, as práticas inadequadas de uso e ocupação agropastoris facilitam e aceleram a erosão hídrica, provocando, ao longo dos anos, o desgaste dos solos e a redução na fertilidade e na produtividade. (MARQUES, 1966)

Além dos efeitos sobre a capacidade produtiva dos solos, a erosão acelerada está relacionada a outra forma de degradação, a saber, o assoreamento. O aumento da quantidade de sedimentos gerados pela erosão acelerada impede o devido transporte por parte dos canais fluviais, ocasionando depósitos que se concentram ao longo dos cursos d'água, entulhando suas calhas. Tal processo, além de ampliar as possibilidades de ocorrência de enchentes, representam significativa ameaça aos sistemas de abastecimento de água das cidades. (QUARESMA, 2013)

2.2 O início e evolução dos processos erosivos

Segundo Guerra (1999), a erosão causada pela água da chuva deve ser entendida desde seus primeiros estágios, a partir do momento em que as gotas de chuva começam a colidir com o solo. Trata-se do efeito *splash*, ou erosão por salpicamento, que prepara as partículas que compõem o solo para serem transportadas pelo escoamento superficial. De acordo com o referido autor, a ruptura dos agregados inicia-se com o impacto das gotas de chuva, quando a energia cinética destas ultrapassa a capacidade de resistência daqueles.

Segundo Strahler e Strahler (2005), cientistas do solo estimam que uma tempestade torrencial tenha a capacidade de perturbar mais de 225 toneladas de solo por hectare. De acordo com os referidos autores, a erosão por *splash* possui a capacidade de deslocar lentamente o solo para jusante ao longo das superfícies das vertentes.

Quando ocorre a ruptura dos agregados do solo, os fragmentos ou muitas vezes as partículas unitárias tendem a preencher os poros da superfície do solo, aumentando a densidade aparente, diminuindo a porosidade e permitindo a formação de crostas, que



reduzem a infiltração e aumentam as ocorrências de escoamento superficial. (FARRES, 1978 APUD: GUERRA, 1999)

O escoamento, no início, ocorre na forma de lençol, podendo tornar-se concentrado, à medida que o processo tem continuidade espacial e temporal. O fluxo linear evolui para microrravinas e posteriormente para microrravinas com cabeceiras. (HORTON, 1945)

Segundo Guerra (1999), após a instalação do fluxo laminar, ocorrem concentrações de fluxo de água em canais pequenos e espalhados em pontos aleatórios da encosta. A profundidade desses canais aumenta e a velocidade de seus fluxos diminui em resposta ao aumento da rugosidade e das partículas transportadas, bem como ao forte atrito entre estas e o fundo dos pequenos canais, ampliando a erosão.

As cabeceiras recuam em direção de montante das encostas, fazendo com que aumentem a largura e a profundidade dos canais, tornando-os aptos a transportarem os sedimentos que a eles chegam, e à medida que se desenvolvem a partir de outras cabeceiras, tornam-se pequenas ravinas.

O aprofundamento da incisão sobre a superfície do solo, fazendo com que a ravina intercepte o lençol freático, conduz a um somatório de processos erosivos tendo em vista a ação concomitante das águas superficiais e subsuperficiais. (SALOMÃO, 1999)

Quando o processo erosivo ocorre pela ação conjugada dos fluxos de água superficiais e subsuperficiais, incluindo assim o lençol freático, manifesta-se através de uma forma conhecida por voçoroca ou boçoroca. (PICHLER, 1953)

Deste modo, segundo Vieira (1978), o ravinamento se processa apenas em função da erosão superficial, com linha de água apresentando grandes declives, canal profundo, estreito e longo. Já as voçorocas são ocasionadas tanto pela erosão superficial como subterrânea, e possuem tendência tanto para o alargamento, como para o aprofundamento, até que se atinja o equilíbrio dinâmico.

2.3 Erosão regressiva

Além das ravinas e voçorocas, outra forma de erosão que merece destaque, tendo em vista suas ocorrências na área em estudo, trata-se da erosão regressiva de canais fluviais.

A erosão regressiva é um tipo de erosão linear ocasionada pelos rios e que se propaga em direção às cabeceiras, em uma tentativa de restabelecer perfis de equilíbrio rompidos. Tal rompimento pode ocorrer pelo abaixamento do plano de água em um determinado ponto do rio, que, segundo Penteadó (1978), reduz o declive a jusante e a velocidade da corrente, resultando na deposição de parte da carga transportada e, deste modo, na elevação do leito. Nesta situação, à montante do ponto, o declive aumenta, devido ao abaixamento do nível e a corrente acelera, resultando em erosão que se propagará em direção das cabeceiras. Outra situação exposta pela autora e que poderá gerar tal processo trata-se de movimentos tectônicos que resultem no basculamento do leito, modificando o declive, alterando todo o perfil, por deposição, se o declive diminuir, ou por erosão, se aumentar.

A erosão regressiva depende do gradiente do canal, o qual pode ser estabelecido pela divisão da altura do leito em relação ao nível de base pelo comprimento do canal fluvial. Assim, quanto maior o gradiente, maior será a força de recuo exercida pelo rio.

Tal processo poderá dificultar a delimitação de determinadas bacias hidrográficas, tendo em vista que poderá causar deslocamento do divisor de águas na mesma direção dos recuos mais intensos, resultando assim em divisores não coincidentes com a linha geral de cumeeada.

A erosão regressiva está relacionada a outro processo conhecido por capturas fluviais, ou captura de drenagens. Tendo em vista que a escavação dos vales pelos rios, na busca pelo



estabelecimento de seus perfis de equilíbrio, se processa por regressão, ou seja, da foz em direção às cabeceiras, o curso de água que recuar de forma mais intensa poderá capturar outro posicionado no lado oposto da vertente, cuja força de recuo foi inibida pela menor declividade. (PENTEADO, 1978)

Assim, captura fluvial tratar-se-ia de desvio das águas de uma bacia hidrográfica para outra, resultando na ampliação de uma rede de drenagem em detrimento de sua vizinha.

Quaresma (2013) observou o fenômeno da erosão regressiva em diversos canais de primeira ordem pertencentes à Bacia do Rio Santo Anastácio. Para o autor, os processos acelerados verificados foram originados pela ação conjunta de fragilidades ambientais e da intensidade do uso e ocupação das terras por parte da sociedade.

2.4 Rede de drenagem

Para Guerra e Guerra (2005), rio trata-se de corrente líquida resultante da concentração do lençol de água em um vale, podendo ser dividido em curso superior, caracterizado como a parte do rio mais próxima de suas cabeceiras e onde ocorre predomínio do escavação vertical ou erosão intensiva do talvegue; curso médio, onde predomina o transporte e um acentuado rebaixamento das encostas; e curso inferior onde ocorre o fenômeno de aluvionamento, processo de deposição de detritos ou sedimentos clásticos removidos das margens e das vertentes.

Segundo Christofolletti (1980), rede de drenagem trata-se do conjunto de rios existentes em determinada área, os quais se inter-relacionam segundo determinado padrão e se estendem desde suas fontes até a desembocadura da referida rede.

Funcionando como canais de escoamento, a rede de drenagem é alimentada pelas águas superficiais e subterrâneas, e, segundo Christofolletti (1980), os rios, sub-elementos que a compõem, se constituem processo morfogenético mais ativo na esculturação da paisagem terrestre.

Tendo em vista o objeto de estudo do presente trabalho, torna-se importante destacar outros termos referentes à canais fluviais, conforme apresentados por Christofolletti (1980), a saber:

- Nascente: ou cabeceira, trata-se do local onde ocorre o início do canal;
- Desembocadura: ponto final da rede considerada;
- Confluência: lugar onde ocorre o encontro de dois canais, não ocorrendo na análise morfométrica junções tríplexes.
- Segmento fluvial: trecho do rio onde não se verifica alteração na ordem hierárquica (com base na hierarquia apresentada por Strahler).
- Ligações: trechos de canais que não recebem a contribuição de afluentes. Tais ligações podem ser subdivididas em exteriores, quando ocorrem entre uma nascente e a primeira confluência a jusante, ou em interiores, quando presentes entre duas confluências consecutivas, ou entre a última confluência e a desembocadura do canal fluvial.

2.5 Equilíbrio dinâmico, perfil de equilíbrio e nível de base

Os rios, as redes de drenagem e as bacias hidrográficas representam diferentes níveis escalares de sistemas abertos, e deste modo, trocam matéria e energia com os demais sistemas componentes do seu universo. (QUARESMA, 2013)

Com base na Teoria do Equilíbrio Dinâmico, é possível afirmar que tais sistemas buscam o estado de equilíbrio, quando os processos aluviais refletem o balanceamento entre o



input e *output* de matéria e energia, manifestando-se não somente nos processos, mas também por meio das formas do perfil longitudinal. (CHRISTOFOLETTI, 1980)

A aplicação da abordagem sistêmica e da Teoria do Equilíbrio Dinâmico no estudo de perfis longitudinais de canais fluviais resultou no conceito de perfil de equilíbrio ou perfil estacionário, no qual, as forças opostas da erosão e da resistência se cancelam e se ajustam, e o *input* e o *output* de matéria e energia são equacionados pelo ajustamento das formas dos canais fluviais.

Assim, um rio terá atingido o equilíbrio dinâmico quando seu perfil longitudinal expressar ajustamento entre as variáveis componentes, resultando em um equacionamento entre a importação e a exportação de energia e matéria, bem como na realização de mesmo trabalho em todas as suas partes. (CHRISTOFOLETTI, 1981)

Para Penteadó (1978), perfil de equilíbrio trata-se do perfil exatamente necessário ao transporte do material fornecido ao rio. Neste caso, estabelece-se uma inclinação tal que a corrente não pode cavar ou depositar, mas apenas transportar a sua carga.

Strahler e Strahler (2005) explicam processos que conduzem ao estabelecimento de perfis de equilíbrio em canais fluviais. Segundo os autores, se a cada ano aumentar o acúmulo de sedimentos no canal de forma a superar a sua capacidade de transporte, a superfície do canal será levantada, resultando em aumento sequencial da declividade, velocidade do fluxo e da habilidade para carregar sedimentos. Finalmente, a declividade atingirá um ponto no qual a corrente apenas transportará os sedimentos que receber. Se houver redução na quantidade de sedimento que flui para a corrente, esta irá gradualmente erodir seu canal verticalmente, reduzindo sua declividade, bem como a sua habilidade em carregar sedimentos, até que somente possa transportar a quantidade que recebe das encostas. Assim que todos os canais experimentem esse processo, todo o fluxo tende a um estado no qual as declividades de todos os seguimentos formarão uma rede coordenada que apenas carregará os sedimentos recebidos da contribuição da bacia de drenagem.

Dentre os processos que podem causar rompimento do estado de equilíbrio pré-existente forçando o reajustamento da rede de drenagem, podem ser citadas as alterações no nível de base local e geral, bem como modificações no sistema hidrológico da bacia hidrográfica, sendo estas principalmente provocadas pelo uso e ocupação das terras. (QUARESMA, 2013)

2.6 Análise Morfométrica de Bacias Hidrográficas

Estudos referentes às redes de drenagem são importantes, tendo em vista que essas se constituem em um dos processos morfogenéticos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre e, deste modo, permitem a compreensão e a elucidação de numerosas questões geomorfológicas.

Entende-se por análise morfométrica a preocupação de medir as formas de relevo por meio de processos sistemáticos e racionais. A adoção deste método na interpretação da evolução da rede de drenagem torna-se relevante uma vez que permite quantificar as modificações a partir da utilização de índices, gerando assim dados mais precisos, os quais podem orientar tomadas de decisões mais efetivas.

Segundo Horton (1945), para a caracterização da rede hidrográfica de uma bacia em termos quantitativos, além do padrão de drenagem e ordem de rios, torna-se necessário considerar a “composição da rede de drenagem”, ou seja, números e comprimentos de rios e tributários de diferentes classes ou ordens, os quais independem do padrão. O autor destaca que o padrão de drenagem, apesar de ser bom indicador do controle geológico, diferentemente da composição da rede de drenagem, possui pouca relevância hidrológica.



Deste modo, Horton (1945) foi quem primeiro definiu os índices de densidade hidrográfica, a qual chamou de frequência de rios, e densidade de drenagem.

O índice de frequência de rios trata-se da relação entre número total de rios das diversas ordens por unidade de área. Por outro lado, o índice densidade de drenagem trata-se da relação entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica, devendo-se levar em consideração os canais perenes e intermitentes. Tem por finalidade, deste modo, comparar o comprimento dos canais drenadores existentes em uma área de tamanho padrão.

Torna-se pertinente ao presente estudo destacar outra contribuição de Horton (1945), a saber, sua classificação dos canais fluviais pertencentes a uma rede de drenagem em um sistema de hierarquização fluvial. Este autor, segundo Christofolletti (1980), trata-se do primeiro pesquisador a apontar critérios para a ordenação dos cursos de água de maneira precisa.

Assim, para Horton (1945), uma determinada ordem é caracterizada por canais que recebem afluentes de ordem imediatamente inferior, podendo ainda receber tributários de outras ordens inferiores, exceção para o caso dos canais de primeira ordem que são caracterizados por não receberem tributários. Assim, os canais de segunda ordem recebem somente afluentes de primeira; os de terceira recebem tributários de segunda ordem e podem receber afluentes de primeira ordem; os de quarta recebem tributários de terceira ordem e podem receber afluentes de ordens inferiores a esta; e assim por diante. Tal classificação exige que seja refeita a numeração a partir de cada confluência de maior ordem a fim de que o canal principal seja classificado com a mesma ordem desde a sua nascente à sua foz.

3 Metodologia

3.1 Área de Estudo

Tendo em vista o objetivo de verificar a evolução da rede de drenagem e a existência de processos de erosão remontante em canais de primeira ordem, adotou-se, como área de estudo, o Córrego Santa Cruzinha, um dos afluentes da margem direita do baixo curso da bacia do Rio Santo Anastácio, localizada entre as coordenadas 21°49'07'' a 22°16'54'' de latitude S e 51°24'27'' a 52°06'33'' de longitude W.

As características das cabeceiras do referido Córrego levaram Stein (1999) a denomina-las como cabeceiras de erosão acelerada tendo em vista sua história evolutiva. Além disso, tal autor afirma que sua maior densidade de drenagem e maiores declividades das encostas criam condições favoráveis à retomada erosiva induzida pelo Homem.

3.2 Atividades de gabinete

3.2.1 Levantamento Bibliográfico

Para a pesquisa bibliográfica, foram consultadas as bases de livros, teses e dissertações das bibliotecas da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e da Universidade Estadual Paulista (Unesp – Rio Claro e Presidente Prudente). Também foram consultados anais de encontros, simpósios e congressos, bem como trabalhos científicos em revistas, todos vinculados à temática da erosão e perda de solos, com especial atenção à região foco do presente estudo.



3.2.2 Restituição da rede de drenagem

Dentre os índices morfométricos existentes, para se verificar a possível reativação da rede de drenagem e erosão remontante, foram selecionados os índices densidade de drenagem (Dd) e densidade hidrográfica (Dh), conforme descritos no Referencial Teórico. Entretanto, preferiu-se adotar as adaptações realizadas por Rodrigues (2006), Simon (2010) e Quaresma (2013), as quais substituem o número total de rios pelo número total de canais de primeira ordem, e o valor da área da bacia pela área de uma amostra circular correspondente a 10km².

Essas modificações se encaixam nos objetivos do presente trabalho, tendo em vista que o aumento significativo de canais de primeira ordem já reflete condições de reativação da rede de drenagem.

Para a determinação da evolução temporal da rede de drenagem, optou-se pela análise do período entre 1962 e 2010. Os procedimentos seguiram de acordo com a metodologia apontada por Nunes et al. (1995), segundo a qual, inicia-se com a montagem do mapa de drenagem a partir da utilização de bases cartográficas em escala adequada e de imagens de sensores. Os procedimentos desta etapa se resumem no detalhamento do traçado da drenagem existente nas bases cartográficas pela utilização das imagens dos referidos sensores utilizados.

Para a realização desta atividade foi necessário adquirir folhas topográficas de escala 1:50.000; Equidistância das curvas de nível: 20 metros; Datum Vertical: Marégrafo Imbituba, SC; Datum horizontal: Córrego Alegre, MG. Uma vez que as mesmas não se encontravam disponíveis em arquivos vetoriais, foi necessária sua aquisição em estado analógico, procedendo à sua digitalização, georreferenciamento e vetorização. Além disso, foram adquiridas fotografias aéreas pancromáticas datadas do ano de 1962, em escala aproximada de 1:25.000, provenientes do Levantamento aerofotográfico do Estado de São Paulo, realizado por Aerofoto Natividade Ltda. As quais foram obtidas junto ao Laboratório de Geoprocessamento do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC.

A visualização do estereomodelo e a restituição da rede de drenagem de 1962 foram realizadas com auxílio de estereoscópio de bolso e seguiu as técnicas para fotointerpretação apresentadas por Garcia (1982).

Para a restituição da rede de drenagem de 2010 foram utilizadas imagens, capturadas no referido ano, pelo sensor PRISM - *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* do programa ALOS - *Advanced Land Observing Satellite*, obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O sensor PRISM trata-se de radiômetro pancromático, com resolução espacial de 2,5m no nadir. Devido a três sistemas ópticos independentes com visada nadir, frontal e para trás, e ao campo de visada amplo, o sensor permite a aquisição de pares estereoscópicos com recobrimento de 35km ao longo da direção de deslocamento da plataforma.

A visão estereoscópica de tais imagens foi gerada no software Arcgis 9.3, tendo sido necessária a utilização de óculos especiais. Deste modo, a vetorização da rede de drenagem de 2010, realizada no interior das amostras circulares, pôde ser executada diretamente em tela.

Importante mencionar que todas as bases e vetores foram adequados ao mesmo sistema de orientação, adotando-se a Projeção Transversa de Mercator e os Datums Vertical e Horizontal, respectivamente, Marégrafo de Imbituba – SC e Córrego Alegre – MG.

A restituição, em um primeiro momento, foi realizada individualmente para os anos de 1962 e de 2010. Posteriormente, realizou-se análise comparativa entre os dois cenários gerados, a fim de que possíveis erros pudessem ser identificados e corrigidos.

Os resultados foram tabulados no software Microsoft - Excel 2003, sendo possível a geração de tabela que permitiram comparar os índices de densidade de drenagem e densidade hidrográfica entre os anos avaliados.



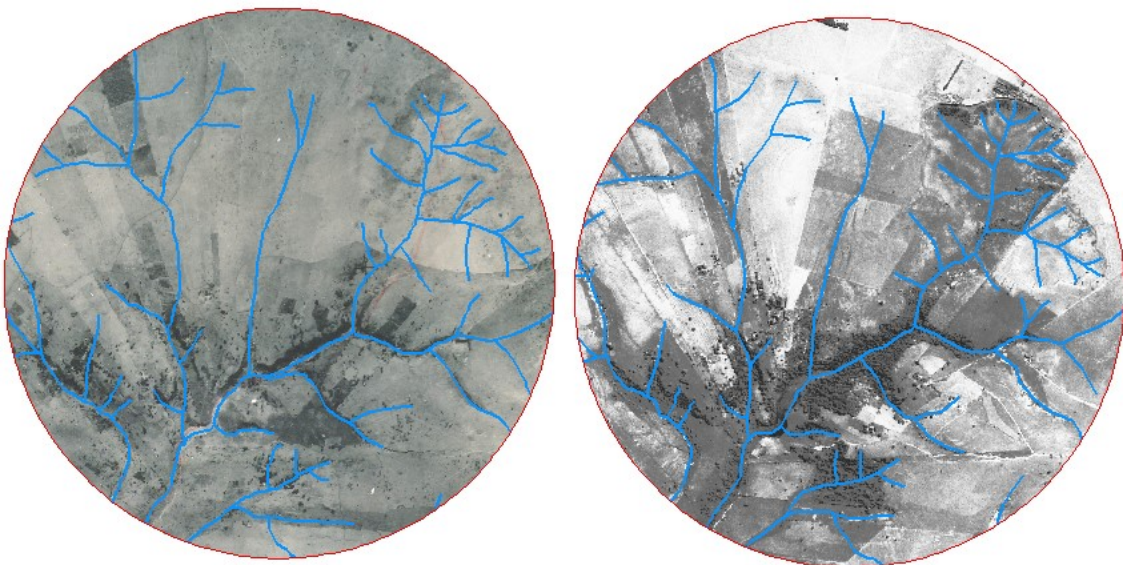
No decorrer das atividades descritas, além da restituição da rede de drenagem, foi dada atenção às características de largura e entalhamento dos canais de primeira ordem, com o objetivo de identificar rupturas de declive ao longo dos perfis longitudinais, bem como a existência de outras formas indicadoras de retomada de erosão em ambos os períodos analisados.

4 Análise dos Resultados

Parte dos resultados obtidos pode ser observada na Figura 1. Nesta, é possível verificar o traçado da rede de drenagem para os anos de 1962 (esquerda) e 2010 (direita). Visualmente, é possível verificar que a área já havia sofrido modificação intensa por parte do sistema antrópico no início da década de 60, uma vez que a vegetação nativa é praticamente inexistente. Isto permite corroborar os estudos de Fonzar (1981), Stein (1999) e Quaresma (2013), os quais discutiram o acelerado processo de uso e ocupação das terras do Pontal do Paranapanema, iniciado com a colonização na década de 20. Logo, verifica-se que em um período de apenas 40 anos, toda a vegetação natural da área foi removida e substituída por culturas agrícolas.

Figura 1: Canais fluviais pertencentes à amostra 02 – cenários de 1962 e 2010

Fontes: Da esquerda para a direita – fotografias aéreas 5265 e 5758/1962 – IAC e imagem do satélite ALOS/Prism nº 062714040 – IBGE.



De acordo com a figura 2, a comparação da rede de drenagem dos dois anos considerados permitiu verificar alterações nos canais fluviais, a saber, aumento de comprimento em 1,60%, e surgimento de quatro novos canais de primeira ordem, representando um acréscimo de 7,27%.



Figura 2: Comparativo de número de canais de 1ª ordem e dos índices Dd e Dh em amostra circular entre os anos de 1962 e 2010.

AMOSTRA 02					
Nº CANAIS DE 1ª ORDEM		DENSIDADE HIDROGRÁFICA		DENSIDADE DE DRENAGEM	
1962	2010	1962	2010	1962	2010
55	59	5,5	5,9	3,12	3,17

Pela fotointerpretação realizada em fotografias aéreas de 1962, pôde-se verificar que a rede de drenagem se encontrava em nítido processo de entalhamento intenso dos talvegues. Foram verificados indícios de erosão acelerada nos canais fluviais, indicando desestabilidade da rede de drenagem e a busca desta pelo restabelecimento do estado de equilíbrio perdido já na década de 60.

Verificou-se também a ocorrência de dois pequenos canais desaguando em desnível em canal de maior ordem, indicando que os mesmos não acompanharam o ritmo de entalhamento do vale principal.

Os canais de primeira ordem, os quais se destacavam no processo de entalhamento de seus antigos leitos fluviais, demonstraram nítido estado de erosão remontante, com o encaixamento dos rios se projetando da embocadura em direção às partes mais elevadas dos perfis longitudinais. Deste modo, a maioria dos vales, caracterizados por serem em V, evoluíram para vales em garganta, encaixando-se à semelhança de pequenos “cânions”. Exemplos de tais situações poderão ser observados a partir da figura 3.

Figura 3: Recorte sobre nascentes (Leste) do Córrego Santa Cruzinha.

Fontes: fotografia aérea nº 5758/1962 - IAC e imagem do satélite IKONOS/2006 – GoogleEarth.



A figura 3 refere-se a dois recortes de uma mesma área do interior da amostra circular, porém em cada um dos momentos analisados. A imagem da esquerda trata-se de fotografia aérea de 1962 (nº 5758) e a da direita, imagem IKONOS, datada de 14/07/2006. O nítido processo de entalhamento do canal fluvial verificado na imagem mais atual não se trata de



processo cuja gênese possa ser atribuída a causas recentes, sendo claramente identificado como erosão linear acelerada já na década de 60. Pode-se verificar que o canal em 62 encontrava-se em processo de encaixamento, formando um vale em “V”, ampliando assim as declividades das vertentes. Segundo Davis (1899), tal processo, relacionado à fase de juventude de sua Teoria, seria seguido por desmoronamentos e ravinamentos, o que pode ser observado em ambos os recortes, porém mais nitidamente e de forma mais evoluída no que se refere ao ano de 2006. Isso permite supor que algo ocorreu no passado, rompendo o estado de equilíbrio dinâmico da rede de drenagem, resultando em reativação erosiva da mesma, com processos semelhantes ao que se verifica por ação de eventos naturais relacionados a movimentos rápidos de origem tectônica ou eustática.

Outra informação destacada pela figura 3 refere-se à evolução da erosão do talvegue que se processa, entre as datas analisadas, em direção a montante, constituindo-se assim em bom exemplo da ocorrência de erosão remontante, verificada em outros canais de primeira ordem pertencentes à amostra em análise. O “x” em cor vermelha, traçado na figura, refere-se a uma quebra na continuidade do perfil longitudinal do canal, formando um degrau, conhecido como rápido. Como pode ser observado, este se afasta cerca de 130m do ponto de embocadura, no intervalo de tempo entre as datas analisadas (de 537m, em 1962, a 667m, em 2006). O círculo em vermelho sobre o recorte em fotografia aérea demonstra trecho do canal à montante da referida ruptura, sendo claramente mais elevado e menos profundo do que o trecho do rio intensamente escavado.

5 Considerações Finais

A perda dos solos, provocada pela ação da erosão constitui-se em um grande problema de sustentabilidade, haja vista que impacta as esferas econômica, social e ambiental.

Diante desses problemas, grande ônus tem sido imputado à sociedade e ao poder público, os quais se veem obrigados a realizar grandes investimentos financeiros e em trabalho, para fins de controle e mitigação dos processos erosivos existentes.

Isto revela a importância de estudos que visam entender a gênese e dinâmica dos processos erosivos desenvolvidos na região, especialmente para o poder público, que, em muitos casos, carece de trabalhos técnicos que auxiliam na tomada de decisões em relação ao adequado enfrentamento do problema.

Deste modo, a definição do tipo de erosão e a caracterização de sua evolução são elementos indispensáveis à escolha das práticas de conservação e recuperação adequadas ao problema.

O presente trabalho permitiu identificar indícios significativos de reativação da rede de drenagem por ação de erosão remontante dos canais de primeira ordem. A presença de ruptura de declive ao longo do leito do canal fluvial e seu deslocamento em direção de montante ao longo do período analisado revelam a intensidade do processo, o que indica um estado de rompimento do equilíbrio dinâmico da rede de drenagem.

O quadro de alteração do uso e ocupação da área, com remoção quase total da cobertura vegetal natural em menos de 40 anos após o início da colonização, permite apontar a ação antrópica como o principal agente desencadeador dos processos erosivos identificados.

O quadro de degradação se agrava tendo em vista as fragilidades ambientais naturais características da área de estudo, conforme apresentadas no Referencial Teórico.

Espera-se que, com base nos resultados ora apresentados e discutidos, a área de estudo venha a se tornar alvo de maior atenção por parte de futuros estudos e de políticas públicas que visem a gestão e o ordenamento do uso e ocupação, bem como a indicação de práticas de manejo mais adequadas.



6 Referências

- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.149p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.313p.
- FONZAR, B. C. **O processo de ocupação regional, o modelo urbano e o conforto térmico na Alta Sorocabana: um teste aplicado a Presidente Prudente**. São Paulo, 1981. 156f. Dissertação (Mestrado) - FFCL/USP.
- GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto: princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel, 1982. 357p.
- GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- GUERRA, A. T; GUERRA, A. J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 4 ed.: 2005. 648p.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydorphysical approach to quantitative morphology. **Geol. Soc. Amer. Bulletin**, v.56, n. 4, p.709-717, 1968.
- MARQUES, J. Q. A. Conservação dos solos no Brasil. In: CONGRESSO PAN-AMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, São Paulo, **Anais...** São Paulo, Secretaria da Agricultura, 1966.
- NUNES, B. A. et al. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 112p.
- PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. 180p.
- PICHLER, E. Boçorocas. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v. 2, n.1, p.3-16, 1953.
- PRESS, F. et al. **Para entender a Terra**. Tradução Rualdo Menegat et al. 4ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656p.
- RODRIGUES, T. R. I. **Influência de reservatórios hidrelétricos na gênese e evolução da rede de drenagem no baixo curso do rio São José dos Dourados (SP)**. Campinas, 2006. 218f. Tese (Doutorado) – FEAGRI/UNICAMP.
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.



SIMON, A. L. H. Influência do reservatório de Barra Bonita sobre a Morfohidrografia da baixa bacia do rio Piracicaba – SP: Contribuições à Geomorfologia Antrópica. Rio Claro, 2011. 127f. Tese (Doutorado) – UNESP.

STEIN, D. P. Avaliação da degradação do meio físico Bacia do rio Santo Anastácio Oeste Paulista. Rio Claro, 1999. 197f. Tese (Doutorado em Geociências) – UNESP.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of Geomorphology, **Geol. Soc. America Bulletin**, v. 63, p.923-938, 1952.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H. **Environmental Geoscience: Interactions between Natural Systems and Man**, Santa Barbara. 1973.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H. **Physical Geography: Science and systems of the Human Environment**, 3ed. New Jersey: John Wiley & Sons. 2005.