

AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO DE UMA SUB-BACIA DO BAIXO TIETÊ (SP)

Eng. Diego Mendonça Arantes - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Dr^a. Juliana Moccellini - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Eng. André Aukar Britschgy de Camargo - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Eng. Júlio Issao Kuwajima - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

Abstract:

The influence of human activities on erosion processes can be 100 times more significant than would be considering only the influence of geological features. Therefore, know and interpret the sediment transport dynamics and deposition is one of the ways to improve development practices, conservation and management of water resources. This paper aims to present partial results of an evaluation project of sedimentation rates on Cruzes river, a tributary of the right bank of the Três Irmãos reservoir, on the Water Resources Management Unit of Baixo Tietê (SP), using temporal integration traps, also known as sedimentation chambers. The preliminary result shows a sedimentation rate about $1.34 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Palavras-chave: sedimentos, deposição, câmaras de sedimentação.

1. Introdução

Para satisfazer as demandas por energia elétrica, grandes obras para construção de hidrelétricas têm marcado o cenário nacional. A construção de reservatórios, para quaisquer que seja seus fins, altera o fluxo de água nos rios provocando importantes transformações nos ambientes aquáticos e terrestres da região. Apesar de ser benéfico quanto a reserva de água para hidroeletricidade, irrigação, navegação, abastecimento público, controle de cheias, entre outros usos, a construção de uma barragem e a formação do reservatório, inevitavelmente, provoca importantes mudanças nas condições naturais do regime de escoamento do curso de água. Dentre estas mudanças, a diminuição da velocidade do escoamento da água reduz a capacidade de transporte dos sedimentos, favorecendo a deposição nos reservatórios provocando seu assoreamento.

Além disto, o modelo de desenvolvimento agrícola no Brasil nas últimas décadas, caracterizado pelo uso massivo dos recursos naturais sem o devido planejamento o que, juntamente com as características do solo e clima, vem provocando grandes perdas de solo por erosão cujas conseqüências foram, e ainda são, o carreamento destes materiais sólidos para os corpos de água, além de matéria orgânica e insumos agrícolas, contribuindo significativamente para o aumento da concentração de sólidos e nutrientes (VANZELA *et al.*, 2010).

Importantes reservatórios brasileiros, como Itaipu, Sobradinho e Tucuruí tiveram seu tempo de assoreamento total estimado em cerca de 1.000 anos, entretanto este tempo é bem menor em locais específicos como as áreas de remanso e delta, cuja estimativa é que em cerca de 20 anos a navegação já poderá se apresentar prejudicada (CARVALHO *et al.*, 2000a).

O assoreamento no reservatório como um todo é computado tanto pela sedimentação devido à redução na velocidade do fluxo do rio principal quanto pelos processos erosivos que ocorrem em cada micro-bacia contribuinte. Desta forma, o conhecimento dos processos de transporte, deposição e suspensão de sedimentos é de vital importância para a conservação, desenvolvimento e manejo destes ambientes (CARVALHO *et al.*, 2000b).

No Estado de São Paulo, o rio Tietê, apresenta-se com o potencial hidroenergético bem aproveitado, com as barragens de Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos, formando um sistema de cachoeiras com área de drenagem de aproximadamente 52.500 Km², onde reside uma população de cerca de 5 milhões de pessoas, mas também bastante impactado com problemas observados ao longo de todo seu curso (BRAMORSKI, 2004).

O compartimento sedimento é um local capaz de integrar vários processos do ambiente aquático de forma que a determinação da sua qualidade é fundamental em estudos ambientais, sendo que a qualidade ambiental do corpo d'água como um todo é resultado da situação de sua bacia de drenagem podendo fornecer informações das atividades advindas do uso e ocupação do solo circundante.

Muitos pesquisadores, segundo suas áreas de atuação, definem os processos erosivos ressaltando as características mais relevantes para seus estudos. Para Vilar (1987), a erosão constitui-se como um conjunto de processos responsáveis pela desagregação, dissolução, desgaste e, conseqüentemente, transporte dos materiais da crosta terrestre.

Para o DAEE (1990) a remoção dos materiais da crosta terrestre é conseqüência da ação combinada da gravidade, da água, do vento e organismos, bem como os movimentos de massa. Weegel e Rustom (1992) afirmam que a desagregação e o transporte resultam de processos naturais, dentre eles:

precipitação, escoamento superficial, ventos e escorregamentos e também das atividades antrópicas que removem a cobertura superficial do solo.

Bertoni e Lombardi Neto (1999) definem como “processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento”. Lindsey e Marder (1999) citam a definição da Sociedade Americana de Testes e Materiais: “erosão é a perda progressiva do material original de uma superfície sólida devido a interação mecânica entre esta superfície e um fluido apresentando componentes múltiplos, ou choque de partículas líquidas e sólidas”.

Lal (2001) considera a erosão como um processo em três partes: destacamento, transporte e deposição das partículas. A energia para estes processos é fornecida pelos agentes erosivos: água, vento, gravidade, reações químicas e ações humanas.

Dentre os vários tipos de erosão, aquela causada pela água representa a maior parte dos processos erosivos, seja, por exemplo, por meio da força das gotículas da chuva que caem sobre a superfície terrestre ou pela força de escoamento das águas fluviais (GUY, 1970).

A chuva é considerada como a mais dinâmica e importante força do meio ambiente capaz de influenciar no processo de erosão (COOK, 1936). Numa chuva sob terreno com erodibilidade alta, os impactos das gotas provocam suspensão das partículas fazendo com que elas se movimentem para jusante da rampa devido à ação da força da gravidade (GUY, 1970). Ainda, num mesmo evento, a energia dissipada pelas gotas da chuva provocam a compactação do solo, diminuindo a infiltração, aumentando o escoamento superficial e, portanto, aumentando a erosão (EDWARDS e GLYSSON, 1998).

A erodibilidade do solo relaciona-se às características físicas que afetam sua resistência à erosão (COOK, 1936). A capacidade da chuva causar erosão é chamada de erosividade. Se a chuva for mais branda, mesmo que ocorra por várias horas, a maior parte da água se infiltra no solo, ocorrendo pouca desagregação de solo. Neste caso, a chuva é de baixa erosividade. Entretanto, se o mesmo volume de chuva ocorrer em poucos minutos, como em uma tempestade, a desagregação do solo será maior e grande parte da água escoará rapidamente pela superfície sob forma de enxurrada. Neste caso a chuva é de alta erosividade.

Contudo, há outros fatores que influenciam na erosão do solo, como a energia do impacto das gotas da chuva. Ainda, deve-se considerar a capacidade de infiltração e armazenamento do solo, a declividade e o comprimento da rampa. Desta forma, por exemplo, mesmo um solo tendo alta erodibilidade, a erosão causada pode ser atenuada caso o solo tenha alta capacidade de infiltração (LOUREIRO, 2008).

A erosão hídrica superficial pode apresentar-se como erosão pluvial, por escoamento difuso, laminar e por escoamento concentrado. A erosão laminar ocorre durante as fortes precipitações, quando o solo encontra-se saturado produzindo um desgaste suave e uniforme da camada superficial (CARVALHO, 2008) e ocorre geralmente em três etapas: desagregação, quando as partículas são desagregadas pelo impacto das gotas da chuva na superfície do solo; transporte das partículas desagregadas principalmente por meio da água que escoam superficialmente; e deposição, quando estas partículas desagregadas sedimentam em vales ou leitos de rios, neste momento, chamadas de sedimentos (EDWARDS e GLYSSON, 1998).

Erosão por escoamento difuso, ou também conhecida como erosão em sulcos ou ravinas, é uma forma de erosão que ocorre em filetes de água que se dividem, espalham e infiltram-se após pouca distância, depositando o material transportado. Sulcos são pequenas incisões na superfície, semelhante à filetes muito rasos (até 0,5 m de profundidade) perpendiculares às curvas de nível, desenvolvendo-se em áreas nas quais a erosão laminar é mais intensa.

Ravinas apresentam profundidade superior a 0,5 m, diferentemente de sulcos e não são corrigidas com operações normais de preparo do solo. Possui forma reta, alongada e estreita, raramente se ramifica e não atinge o nível do lençol freático. Apresentam perfil em “V”, ocorrendo entre eixos de drenagem associados à formas pré-existentes no terreno (estradas, trilhas de gado e carreadores).

Segundo Rodrigues (1982), voçorocas são ravinas profundas que se desenvolvem em sedimentos, solos, taludes naturais e artificiais, preferencialmente ao longo de uma linha de drenagem (IWASA e PRANDINI, 1980), cujas formas são variadas e de difícil controle (CANIL *et al.*, 1995).

Em geral, o fenômeno se caracteriza pela alta velocidade de escoamento (quando comparado à velocidade de escoamento da água nas erosões do tipo sulco e ravina) e remoção rápida do material de forma que não haja o desenvolvimento de vegetação. É a forma de erosão mais complexa e mais destrutiva dentre as erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas), combinando a ação das águas de escoamento superficial e sub-superficial, podendo desenvolver processos de “*piping*” (erosão interna), escorregamentos e corridas (PICHLER, 1953; BIGARELLA e MAZUCHOSKI, 1985; PONÇANO e PRANDINI, 1987; DAEE, 1990; CERRI *et al.*, 1997).

Segundo Rodrigues e Vilar (1984), o aparecimento das voçorocas deve-se ao escoamento superficial da água, enquanto que o avanço lateral, inclusive arrastando as partículas do maciço, deve-se ao escoamento sub-superficial. A voçoroca, a partir de sua formação à extinção passa por quatro estágios (MACIEL FILHO, 1994):

- Formação de sulcos e neste estágio pode ser considerada como uma ravina;
- Formação dos saltos, ou seja, aprofundamento da voçoroca;

- Alargamento e definição do nível base da erosão, formação do fundo plano (neste estágio é evidente a contribuição da água sub-superficial no processo erosivo);
- Extinção da voçoroca, com técnicas de engenharia de estabilização de taludes e drenagem e implantação de vegetação para proteção da camada superior do terreno.

As formas geológicas ainda devem ser consideradas como eventos que influenciam no processo erosivo, por exemplo, as encostas convexas, por isso, coletoras e dispersoras, estão intimamente susceptíveis a formação de voçorocas (PONÇANO e PRANDINI, 1987).

O conceito de voçoroca urbana e rural apresentado por Iwasa e Prandini (1980), as definem como:

- Voçorocas urbanas: aquelas que ocorrem em cidades instaladas em terrenos com baixa resistência à erosão, nos quais, quando não pavimentados, apresentam formação de ravinas onde as próprias ruas servem de adutora para as águas das chuvas captadas pelos telhados das casas, além do runoff local;
- Voçorocas rurais: desenvolvem-se em pastagens e culturas onde a cobertura vegetal é deficiente, muito provavelmente devido ao manejo inadequado do solo, acredita-se também que suas formações são resultados do ravinamento iniciado ao longo dos anos por meio das valas de demarcação, trilhas e, até mesmo, linhas de plantio.

Suas dimensões são as mais variadas possíveis e, segundo Pichler (1953), suas profundidades podem variar de 15 a 30 m, sendo que, em comprimento podem atingir centenas de metros. Assim, por se constituírem processos erosivos complexos, voçorocas devem merecer cuidados diferenciados em seu tratamento e seus estudos são de fundamental importância (SALOMÃO, 1992).

A erosão do solo é considerada como um processo causador de vários problemas ao meio ambiente, sendo uma das principais fontes não pontuais (difusas) de poluição dos recursos hídricos superficiais (BRAMORSKI, 2007).

As soluções para problemas decorrentes de fontes de poluição de origem pontual, apesar de onerosas, são de fácil aplicação e apresentam resultados já comprovados. Entretanto, a poluição difusa tendo como uma de suas características a sazonalidade, principalmente quando relacionada à agricultura, e o potencial de atingir grandes áreas, requer, para a solução de seus problemas, o manejo da bacia de drenagem como um todo por meio de tomada de ações mitigadoras bastante específicas (SIMÕES, 2001).

Para obtenção de uma produtividade agrícola a níveis considerados ótimos, muitas vezes faz-se a aplicação de fertilizantes, compostos basicamente por nitrogênio e fósforo. Estes, quando aplicados acima da capacidade de absorção pelas culturas e fora da região ótima de absorção pelas raízes, aliado a perda de partículas e produtos químicos por meio do escoamento superficial geram problemas como a contaminação e eutrofização dos recursos hídricos (SILVA e CRESTANA, 2004), sendo a erosão em áreas agrícolas considerada como uma das principais causas da perda da qualidade dos recursos hídricos nos Estados Unidos (EILERS, 2003).

Na escala de vida humana é impossível acompanhar os processos erosivos em sua totalidade (CARVALHO *et al.*, 2000b). Por isto, os estudos sedimentológicos, assim como hidrológicos, adotam a bacia hidrográfica como unidade de planejamento.

A movimentação dos sedimentos envolve os processos de erosão, a movimentação das partículas sólidas no meio aquático e a deposição destas. Entretanto, há outros processos que interferem no transporte de sedimentos. Desta forma, segundo Edwards e Glysson (1998) o conhecimento deste processo deve contemplar:

- A avaliação da produção dos sedimentos segundo as condições naturais do meio ambiente, como solo, clima, runoff, topografia, cobertura do solo e área de drenagem;
- A avaliação da produção de sedimentos segundo o uso e ocupação do solo;
- A taxa de transporte de sedimentos em rios;
- A granulometria das partículas transportadas;
- O relacionamento das características químicas dos sedimentos com a qualidade da água e conseqüentemente com a biota, tanto aquática quanto terrestre.

Procedimentos de modelagem de perda de solo foram estudados, principalmente em 1954, após análise de dados obtidos em mais de 10000 experimentos envolvendo escoamentos superficiais e perdas de solo, por pesquisadores da Universidade de Purdue, nos Estados Unidos, que desenvolveram a Equação Universal da Perda de Solos (EUPS) capaz de caracterizar e quantificar a erosão do solo a partir do escoamento superficial da água. A EUPS é um modelo empírico e baseia-se em dados de campos que estimam a erosão a partir dos fatores: erosividade devido ao clima, erodibilidade do solo, topografia e uso e ocupação do solo (LOUREIRO, 2008).

A equação que expressa a perda anual de solo por unidade de área, segundo Wischmeier e Smith (1978) é a seguinte:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

(1)

Sendo:

A a perda de solo média (t/ha.ano);

R o fator de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano ou t/ha.ano);

K o fator de erodibilidade do solo (adimensional);

L e *S* os fatores relativos à topografia do terreno, sendo *L* o comprimento (m) e *S* a declividade (adimensional);

C o fator relativo à cobertura do solo (adimensional);

P o fator de medida de controle da erosão (adimensional).

Apesar da EUPS ter sido desenvolvida originalmente para estimativa da perda de solo anual devido à erosão em áreas agrícolas do EUA, suas modificações e adaptações às condições locais ainda tem-se mostrado como a melhor ferramenta neste tipo de estudo (MIRANDA, 2005). É interessante ressaltar que muitas outras equações foram estudadas, bem como a EUPS foi aperfeiçoada, de modo que a utilização de uma equação como esta requer um grau de especificidade do problema e, portanto devem ser analisadas caso a caso.

Em se tratando de planejamento de recursos hídricos, a qualidade da água é extremamente afetada pelo uso e ocupação do solo da região, pois os processos erosivos, principalmente de origem pluvial, contribuem para a entrada de contaminantes no ecossistema aquático.

As atividades humanas, o uso e a ocupação do solo e os fatores climáticos interferem na qualidade da água. Os despejos de efluentes domésticos e industriais sem tratamento adequado são classificados como as principais fontes de poluição em ambientes urbanos, e a poluição difusa, principalmente aquela advinda das atividades agrícolas, é considerada como a mais impactante fonte no meio rural.

Este trabalho tem por objetivo apresentar os resultados parciais da pesquisa intitulada Exportação de sólidos e nutrientes em uma sub-bacia do Baixo Tietê (SP), que ainda está em desenvolvimento. Os resultados apresentados neste trabalho são especialmente relacionados à avaliação das taxas de deposição desta sub-bacia em estudo.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, mais precisamente na sub-bacia do Ribeirão das Cruzes, afluente da margem direita do Reservatório da UHE de Três Irmãos, no município de Santo Antônio do Aracanguá, Estado de São Paulo.

A Bacia do Baixo Tietê, corresponde a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 19 (UGRHI 19), está localizada ao noroeste do Estado de São Paulo, seguindo o curso do Rio Tietê, estendendo-se desde o Reservatório de Promissão (Usina Mário L. Leão) até a confluência com o Rio Paraná, na divisa com o Estado de Mato Grosso do Sul, tendo este percurso cerca de 221 Km. A área de drenagem da bacia é de aproximadamente 15.500 Km², nos quais estão inseridos os Reservatórios de Três Irmãos e de Nova Avanhandava. Os principais cursos de água são: o Rio Paraná e seu afluente, Ribeirão do Abrigo; Rio Tietê e seus afluentes, Ribeirão Lajeado, Ribeirão do Aracanguá, Ribeirão Macaúbas e Ribeirão Santa Bárbara (CETEC, 2001).

Limita-se ao norte com a Bacia do Rio São José dos Dourados (UGRHI 18), ao sul com a Bacia do Rio Aguapeí (UGRHI 20), a leste com a Bacia do Tietê/Batalha (UGRHI 16) e a oeste com o Rio Paraná, divisa dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (Figura 1).

A UGRHI 19 foi subdivida em sub-bacias segundo o método desenvolvido pelo Engenheiro Otto Pfafstetter, pelo qual conhecendo-se apenas o código de uma bacia pode-se determinar quais estão à montante e quais à jusante, independente do nível de detalhe, dando origem à Sub-Bacia do Ribeirão das Cruzes (Figura 2) (CETEC, 2001).

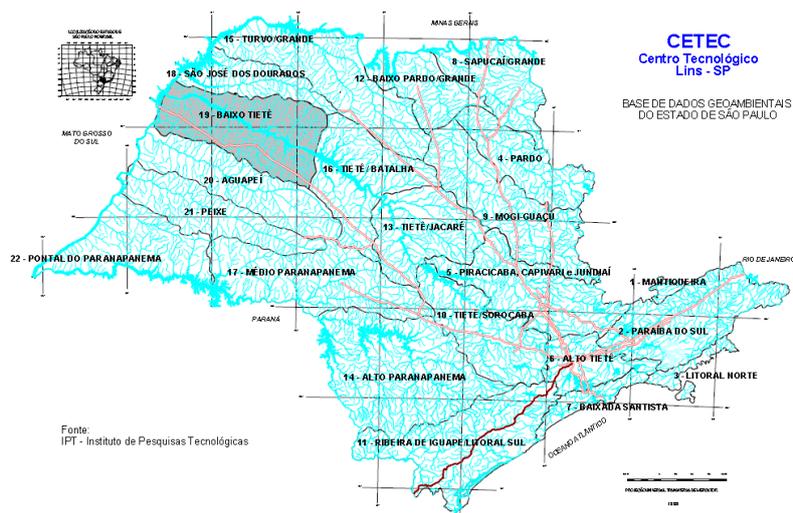


Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, modificado de CETEC (2001).



Figura 2: Localização da sub-bacia do Ribeirão das Cruzes, modificado de CETEC (2001).

2.2. Seleção dos locais de amostragem

Com o intuito de se avaliar as taxas de sedimentação das principais bacias de contribuição da sub-bacia do Ribeirão das Cruzes e sua respectiva exportação para o Reservatório de Três Irmãos, foi adotada uma sistemática de coleta de dados em transectos (linhas transversais ao eixo do corpo de água). Estes transectos, num total de 7, foram selecionados segundo as principais características de uso e ocupação das bacias de contribuição do Ribeirão. Na Figura 3, a seguir, estão representados os locais de coleta selecionados.

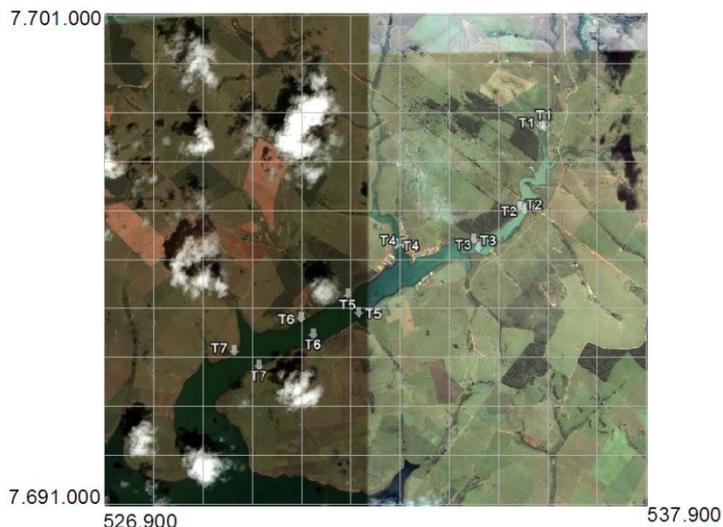


Figura 3: Localização detalhada dos transectos.

Para manter a fidelidade de amostragem, os transectos foram georreferenciados por meio de DGPS, cuja precisão é da ordem de 1,20 m. Estudos realizados pela CEMIG (1965) indicam que devido às

questões práticas e econômicas, o número de verticais para quantificação da descarga sólida pode ser disposto da seguinte maneira: três verticais à $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ da largura do transecto. Deste modo, cada transecto terá três pontos de amostragem, distribuídos ao longo de sua largura.

Foram realizadas coletas em janeiro de 2011, satisfazendo as coletas no período chuvoso e uma nova campanha está programa para ser realizada no mês de agosto de 2011.

2.3. Experimento para determinação das taxas de deposição de sedimentos

Para calcular as taxas de deposição de material particulado ao longo do curso de água, foi utilizado um amostrador do tipo armadilha de integração temporal. Este foi confeccionado com 4 tubos de PVC, de formato cilindro, de 10 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento, fechados em uma das tampas, e dispostos verticalmente na coluna de água (Figura 5). Antes de serem submersos até a profundidade escolhida (procedimento de incubação), os mesmos tiveram seu volume completado com água daquela profundidade, coleta com Garrafa de Van Dorn, que, para fins de cálculo das taxas de deposição, será considerado como branco.

A eficiência da medida em águas paradas, como é o caso das amostragens em águas de reservatório, é considerada como máxima, ou seja, de 100% (LOUREIRO, 2008).

Para conhecimento da distribuição vertical das taxas de sedimentação, foram dispostos amostradores na zona eufótica e afótica da coluna de água durante um tempo de amostragem de aproximadamente 24 horas, correspondente a um ciclo diário (LEITE, 1998), entretanto a relevância da disposição destes amostradores em zonas não será debatido neste trabalho. Após o período de incubação, as câmaras foram retiradas e seu conteúdo transferido para um galão de 10 litros. O conteúdo foi homogeneizado e uma alíquota de 500 ml foi recolhida e levada ao laboratório para posterior análise.

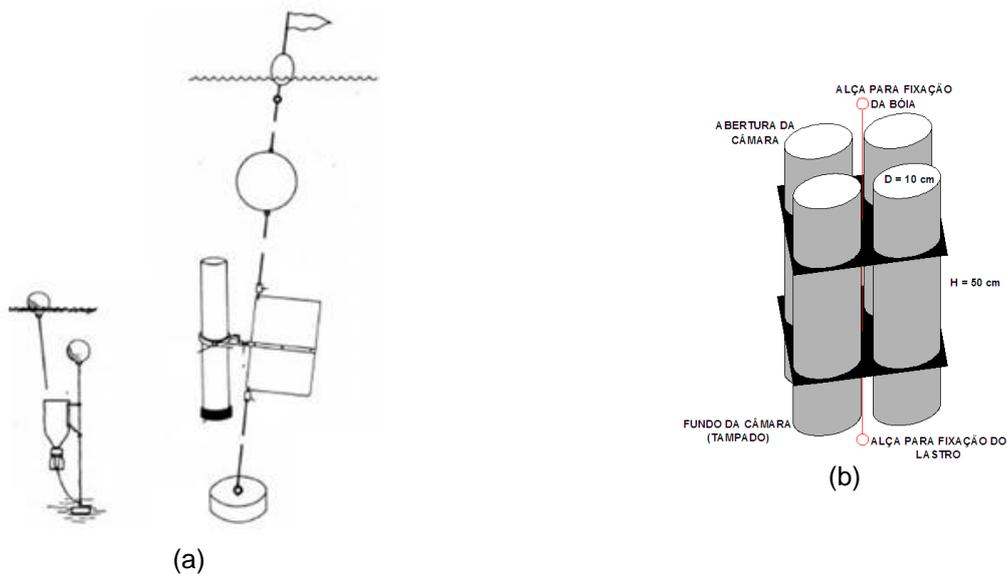


Figura 5: Amostrador de armadilha de integração temporal.
(a) Modelo apresentado por Kraus (1987). (b) Modelo utilizado neste trabalho.

2.4. Análise física

Para determinação da concentração dos sedimentos em suspensão foi utilizado o método gravimétrico 2.540D e 2.540E do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, descrito em APHA (1999).

O método consiste na determinação da massa de sólidos retidos durante a filtração, à vácuo, de um volume conhecido de amostra, em um filtro de fibra de vidro de $1,2 \mu\text{m}$ de diâmetro de poro, previamente calcinado em forno mufla. Possibilitando as seguintes relações:

$$SST = \frac{P_1 - P_0}{V} \quad (2)$$

$$SSI = \frac{P_2 - P_0}{V} \quad (3)$$

$$SSO = \frac{P_1 - P_2}{V} \quad (4)$$

Sendo:

SST a Concentração de Sólidos Suspensos Totais [mg.l^{-1}];
 SSI a Concentração de Sólidos Suspensos Inorgânicos [mg.l^{-1}];
 SSO a Concentração de Sólidos Suspensos Orgânicos [mg.l^{-1}];
 P_0 a massa do filtro calcinado, antes da filtração [mg];
 P_1 a massa do filtro seco em estufa, após filtração [mg];
 P_2 a massa do filtro calcinado, após filtração [mg];
 V o volume de amostra utilizado na filtração [l].

Neste trabalho serão apresentados apenas os dados relativos à SST , ou seja, à Concentração de Sólidos Suspensos Totais, conforme representado pela Equação 2.

2.5. Cálculo da taxa de deposição de sedimentos

O cálculo da taxa de deposição foi estabelecido segundo as relações das características físicas das armadilhas de integração temporal, do tempo de amostragem e da SST do material retido na armadilha, conforme apresentado também por Bufon (2002) da seguinte maneira:

$$TD = \frac{(SST_C - SST_G) \cdot V_A}{A \cdot \Delta T} \quad (5)$$

Sendo:

TD a taxa de deposição [$\text{mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$];
 SST_C a Concentração de Sólidos Suspensos Totais, retidos na câmara de sedimentação [mg.l^{-1}];
 SST_G a Concentração de Sólidos Suspensos Totais coletados no momento da incubação (branco) [mg.l^{-1}];
 V_A o volume da armadilha [3,927 l];
 A a área da abertura da armadilha [78,54 cm^2];
 ΔT o tempo de amostragem [dias].

3. Descobertas e discussões

Segundo as análises realizadas até o momento, os resultados apresentam uma taxa de deposição da ordem de $1,34 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Este valor corresponde à taxa de sedimentação média dos transectos 1, 2 e 3, observados durante período chuvoso. A avaliação das taxas de sedimentação nos demais transectos e também a avaliação dos mesmos em período seco, complementarará o estudo dos processos de sedimentação no Ribeirão das Cruzes.

Estudos semelhantes, inclusive utilizando câmaras de sedimentação, por exemplo Bufon et al (2009), encontram taxas de sedimentação da ordem de $7,0 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, enquanto que Leite (1998) observou taxas de sedimentação da ordem de $90 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Poderia se dizer, analisando somente a comparação das taxas de sedimentação encontrada com as demais citadas acima, que os processos erosivos na região em estudo são de baixa expressão, no entanto outros estudos específicos da região do Ribeirão das Cruzes e especificamente sobre a UHE de Três Irmãos revelam as preocupações com os processos de assoreamento.

A citar, Camargo et al. (2011), verificaram a presença de voçorocas na região do Ribeirão das Cruzes e quantificaram a contribuição desta para o assoreamento, e concluíram que a taxa média de assoreamento promovida pela voçoroca é, sozinha, maior que a média nacional de assoreamento. E, Albertin et al. (2009), verificaram através modelagem que a UHE de Três Irmãos pode ter perdido, devido ao assoreamento, um volume útil da ordem de 14,5%.

4. Conclusões

Conforme já mencionado anteriormente, este trabalho trata-se de um projeto ainda em andamento que futuramente possuirá uma variedade maior de dados e possibilitará uma análise mais detalhada dos processos de sedimentação que ocorrem na área de estudo. No entanto, os resultados preliminares revelam a necessidade de aplicação de métodos conservacionistas de manejo do solo, em especial na pecuária e agricultura de cana-de-açúcar, culturas estas que predominam na região, sem aplicação de práticas de manejo que contenham a produção e entrada de sedimentos no curso de água.

Desta forma, este trabalho vem com o intuito de reafirmar a necessidade de estudos detalhados da dinâmica de processos erosivos que têm contribuído, dentre outras coisas, para o carreamento de sedimentos para corpos de água, comprometendo também sua qualidade.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo financiamento desta pesquisa através do Projeto 10/51225-4.

6. Referências

ALBERTIN, L. L. ; MATOS, A. J. S. ; MAUAD, F. F. Determinação do Volume do Reservatório de Três Irmãos - SP. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington, APHA, 1999.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4ª Edição. São Paulo: Ícone, 1999. 355p.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: ABGE/ADEA. Maringá/PR, 1985. 332p.

BRAMORSKI, J. **Avaliação da qualidade de sedimentos dos rios Tietê e Piracicaba no compartimento de entrada do Reservatório de Barra Bonita, SP**. 2004. 135 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

_____. **Avaliação da perda de solo e nutrientes nitrogenados por erosão em áreas agrícolas: uma abordagem integrada e experimental dos fatores intervenientes no processo**. 2007. 197 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BUFON, A. G. M. **Variação temporal e espacial da taxa de sedimentação e das características limnológicas na microbacia do córrego da Barrinha, no município de Pirassununga, SP**. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos) – Centros de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 180 f. 2002.

BUFON, A. G. M.; TAUK-TORNISIELO, S. M.; PIÃO, A. C. S. **Tempo De Vida Útil Da Represa Velha Da Microbacia Do Córrego Da Barrinha, Pirassununga, SP, Brasil**. Arquivos Do Instituto Biológico, V. 76, P. 673-679, 2009.

CAMARGO, A. A. B.; KUWAJIMA, J. I.; ARANTES, D. M. e MAUAD, F. F (no prelo). Quantification of gully erosion contribution to the Cruzes river siltation. In: Anais do XIV World Water Congress. Porto de Galinhas/PE, 2011.

CANIL, K.; IWASA, O. Y.; SILVA, W. S.; ALMEIDA, L. E. G. Mapa de feições erosivas lineares do Estado de São Paulo: Uma análise qualitativa e quantitativa. In: 5º Simpósio nacional de controle de erosão. ABGE/UNES. Bauru/SP, 1995. p. 249-251.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, N. O; FISIOLA JUNIOR, N. P; SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W. **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL, 2000a. 140 p.

_____. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília: Dupligráfica, 2000b. 154 p.

CEMIG. Manual de hidrometria. Divisão de Hidrologia Belo Horizonte, MG. 1965.

CERRI, L. E. S.; SILVA, J. A. F.; SANTOS, P. H. P. Erosão do solo: aspectos conceituais. Revista da Universidade de Guarulhos, Geociências, 1997. p. 92-98.

CETEC (Centro Tecnológico Lins/SP). **Situação dos recursos hídricos do Baixo Tietê – UGRHI 19**. Relatório Técnico Final. Lins, São Paulo, 2001. 261 p.

COOK, H. L. The nature and controlling variables of water erosion process. **Soil Sci. Soc. America Proc.**, v. 1, p. 487-494, 1936.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas. São Paulo: DAEE/IPT, 1990. 92 p.

EDWARDS, T. K. e GLYSSON, G. D. Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment. In: Applications of hydraulics. USGS. Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological

Survey. TWRI 3 – C2. Arlington. VA, 1998, 89p.

EILERS, V. H. Relatório parcial de atividades do projeto vinculado ao programa Prodoc da Capes USP/EESC/PPG-SEA/EMBRAPA, 2003.

GUY, H. P. Fluvial Sediment Concepts. In: Applications of hydraulics. USGS. Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey. TWRI 3-C1. Arlington. VA, 1970, 55p.

IWASA, O. Y. e PRANDINI, F. L. Diagnóstico da origem e evolução das boçorocas: condição fundamental para preservação e correção. In: Simpósio sobre o controle de erosão. ABGE. Curitiba/PR, 1980. p. 05-34.

KRAUS, N. C. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. Journal of Coastal Research, v. 3, n. 2, 1987, pp. 139-152.

LAL, R. Soil degradation by erosion. Land degradation & development. Nº 12, 2001. p. 519-539.

LEITE, M. A. Variação espacial e temporal da taxa de sedimentação no Reservatório de Salto Grande (SP) e sua influencia sobre as características limnológicas do sistema. 1998. 170f. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

LINDSLEY, B. A. e MARDER, A. R. The effect of velocity on the solid particle erosion rates of alloys. Wear 225-229. Elsevier, 1999. p. 510-516.

LOUREIRO, D. D. T. **Métodos atuais e novas tecnologias para o monitoramento do transporte de sedimentos em rios: necessidade de dados e incertezas envolvidas.** 2008. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MACIEL FILHO, C. L. **Introdução a geologia de engenharia.** Santa Maria: Editora da UFSM, 1994. 284p.

MIRANDA, R. B. **A influência do assoreamento na geração de energia hidrelétrica: estudo de caso na Usina de Três Irmãos – SP.** 2011. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PICHLER, E. Boçorocas. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia – SBG, 1953. p. 3-16.

PONÇANO, W. L. e PRANDINI, F. L. Boçorocas no Estado de São Paulo: uma revisão. In: Anais do 4º Simpósio nacional de controle de erosão. Marília/SP, 1987. p. 149-175.

RODRIGUES, J. E. **Estudos de fenômenos erosivos acelerados – boçoroca.** 1982. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

RODRIGUES, J. E. e VILAR, O. M. Estudos da erosão interna em boçorocas através da teoria do carreamento. In: 4º Congresso brasileiro de geologia de engenharia. Belo Horizonte. Anais, v2. ABGE, 1984. p. 163-169.

SALOMÃO, F. X. T. Solos do arenito Bauru. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E; CRUZ, M. C. P. (Eds). Solos altamente suscetíveis à erosão. FCAV – UNESP/SBCS. Jaboticabal, 1992. p. 50-68.

SILVA, F. G. B e CRESTANA, S. Modelos e formulações pra análise de erosão de solos em bacias hidrográficas voltados ao planejamento ambiental. In: Ciências Ambientais: diversas abordagens para a bacia hidrográfica. São Carlos: Rima Ed. 2004.

SIMÕES, L. B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias.** Botucatu. Tese (Doutorado) – Faculdades de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista. 2001. 271 p.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T. e FRANCO, R. A. M. **A influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis.** Revist. Bras. Eng. Agric. Amb, v. 14, n.1, 2010, p. 55-64.

VILAR, O. M. **Formulação de um modelo matemático para erosão dos solos pela chuva.** 1987. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

WEEGEL, J. R. e RUSTOM, R. Soil erosion by rainfall and runoff state of the art. Geotextiles and Geomembranes. V11, 1992. p. 551-572.