

TUCCI, C.; COLLISCHONN, W. 1998. Drenagem urbana e Controle de Erosão. VI Simpósio nacional de controle da erosão. 29/3 a ¼ 1998, Presidente Prudente, São Paulo

DRENAGEM URBANA E CONTROLE DE EROSÃO

Carlos E. M. Tucci¹ e Walter Collischonn²

Resumo: A drenagem urbana tem sido desenvolvida dentro de premissas estruturais onde os impactos são transferidos de montante para jusante sem nenhum controle de suas fontes. No escoamento esse processo tem provocado aumento da frequência das enchentes e entupimento dos condutos e canais por sedimentos e a degradação da qualidade da água. Dentro desse contexto o controle da erosão urbana é fundamental tanto na manutenção da capacidade de escoamento do sistema de drenagem como na qualidade ambiental. As características da produção dos sedimentos em bacias urbanas e de seu controle dentro da experiência internacional são descritas. Buscando destacar indicadores que possam ser aplicados às condições de urbanização de cidades brasileiras, são apresentadas estimativas de produção de sedimentos para bacias urbanas

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9500. Caixa Postal 15029 CEP 91501-970 Porto Alegre - RS - Brasil Fone: (051) 316-6408 e-mail: tucci@if.ufrgs.br

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Fone: (051) 316-6327 e-mail: cllschnn@vortex.ufrgs.br

em algumas cidades do país.

Impactos do desenvolvimento urbano

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na frequência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água.

À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos: (i) aumento das vazões máximas (em até 7 vezes, Leopold, 1968) devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies; (ii) aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo); (iii) deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Esses processos estão fortemente interligados quanto aos impactos indesejáveis sobre a sociedade. As enchentes aumentam de frequência não só pelo aumento da vazão, mas também pela redução de capacidade de escoamento provocada pelo assoreamento dos condutos e canais.

Guy (1967) mostra que os sedimentos nas áreas urbanas muitas vezes são gerados em um grande número de áreas particulares, mas quando atingem o leito do rio ou canal passam a ser encarados como um problema público. O custo de dragagem em São Paulo no rio Tietê é de US \$ 18,2/ m³ segundo Nakae e Brighetti, (1993). No Reino Unido, Ciria

(1986) estimou que o custo anual de problemas relacionados com sedimentos na rede de drenagem era da ordem de US \$ 85 a 100 milhões.

Sedimentos e material sólido

Durante o desenvolvimento urbano, o aumento da produção de sedimentos da bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas.

Em bacias rurais, o cultivo do solo deixa o solo periodicamente exposto aumentando a produção de sedimentos. A camada superficial do solo tem a estrutura alterada, tornando-se menos resistente à erosão. O mesmo pode ocorrer em bacias urbanas, durante o processo de alteração de uso do solo. Áreas de campos, florestas ou até banhados são ocupadas na periferia das cidades por loteamentos. Tradicionalmente os loteamentos urbanos são precedidos por intensa atividade de retirada da cobertura vegetal, movimentação de volumes de terra e desestruturação da camada superficial de solo.

Em bacias urbanas a alteração de uso do solo é definitiva, o solo, e até o subsolo, ficam expostos para erosão no lapso de tempo entre o início do loteamento e o fim da ocupação. Quando a bacia urbana está completamente ocupada e o solo praticamente impermeabilizado, a produção de sedimentos tende a decrescer.

Dawdy (1967) descreve o caráter transitório do crescimento da

produção de sedimentos de uma bacia durante a urbanização (figura 1). Os valores se referem a uma bacia de Maryland nos EUA, onde a produção de sedimentos máxima foi de cerca de 50 vezes maior que a produção original, e coincidiu com a época de máxima atividade de ocupação e construção na bacia.

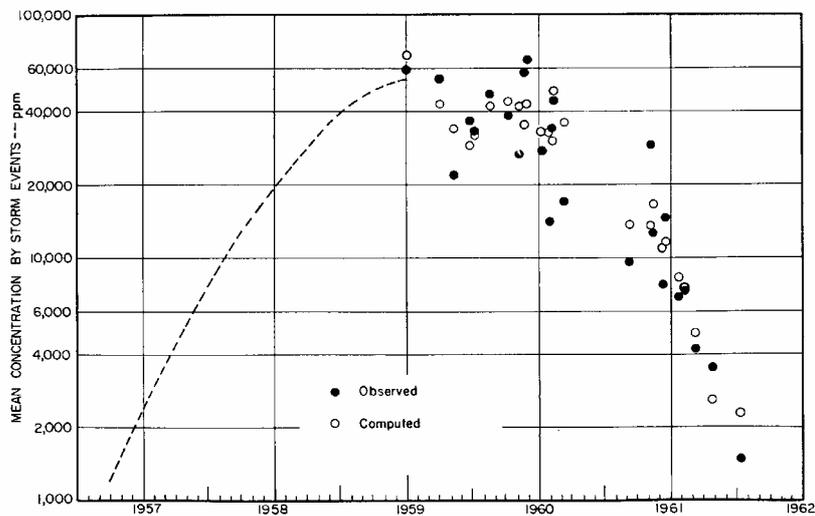


Figura 1: Concentração de sedimentos durante a urbanização de uma bacia (Dawdy, 1967)

Os sedimentos que atingem a macrodrenagem depositam devido à redução de declividade e da capacidade de transporte. Os sedimentos depositados reduzem a capacidade de escoamento de cheias dos canais da macrodrenagem e as inundações se tornam mais frequentes. Em geral a

solução adotada é a dragagem do material depositado nos canais. Os problemas associados à dragagem são os altos custos da operação, a necessidade de uma área para depositar o material dragado, a degradação das margens e as interrupções no trânsito que ocorrem se o material é retirado por caminhões. A redução da capacidade dos condutos é um problema mais sério, já que a limpeza dos mesmos representam custos significativos.

Além dos impactos físicos, o transporte de sedimentos traz consigo a carga de poluentes agregados aos sedimentos. A associação de poluentes tóxicos com materiais finos produz redução da qualidade da água. Da mesma forma os depósitos de sedimentos associados com esgoto sanitários devido a interligação clandestinas dos sistemas pluviais são fontes de degradação anaeróbia que se formam na rede de escoamento. Esses depósitos geram a demanda de oxigênio bentônica. Segundo House et al (apud Ellis, 1993), quando esses depósitos não sofrem erosão têm uma demanda de 0,15 a 2,75 $\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e durante as enchentes podem aumentar para 240 a 1500 $\text{g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Portanto, os impactos do transporte do escoamento pluvial estão relacionados com a acumulação de nutrientes, metais, hidrocarbonetos e bactérias nos sedimentos.

Em resumo, as principais consequências ambientais da produção de sedimentos são as seguintes: assoreamento da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos; transporte

de poluentes agregados ao sedimento, que contaminam as águas pluviais.

Estimativa da produção de sedimentos em bacias urbanas

A produção de sedimentos de bacias urbanas pode ser estimada com base em: volume de material dragado de canais; avaliação de assoreamento de lagos; valores típicos de acordo com o tipo de urbanização; equações empíricas.

Esses valores podem ser estimados como valores médios anuais ou como valores médios de eventos (EMC). Na tabela 1 são apresentados valores de produção de sedimentos suspensos médios de alguns países europeus e dos Estados Unidos com base na carga anual específica e no EMC. Pode-se observar que os valores europeus tendem a serem maiores que o dos EUA, no entanto na Europa prevalece o sistema misto, enquanto que nos EUA prevalece o sistema separador absoluto.

Tabela 1: Sedimentos suspensos no escoamento urbano (Ellis, 1996).

| País / Região | Carga de sedimentos $\text{ton.km}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ | EMC mg.l^{-1} |
|---------------|---|---------------------------|
| Reino Unido | 49 (35 - 234) | 190 (21 - 2582) |
| França | 146 (80 - 265) | 364 (15 - 3780) |
| Alemanha | 104 (26,3 - 150) | 170 (46 - 2700) |
| Escandinávia | - | 323 (5 - 1040) |
| EUA | - | 150 (2 - 2890) |

Observação: EMC é a concentração média de sedimentos por evento. Os valores entre parênteses indicam a faixa de valores medidos.

A estimativa da carga de sedimentos pode ser realizada com base

em valores médios, de acordo com o tipo de ocupação por

$$L = \sum_{i=1}^n A_i CL_i$$

onde L =é a carga total, e A_i é uma sub-área da bacia com carga específica CL_i . As cargas específicas podem ser estimadas de acordo com a tabela 2. Os valores da tabela 2 foram apresentados por Ellis (1996) e representam os maiores valores de produção de sedimentos, além de retratar principalmente o comportamento de cidades de países europeus e americanos, portanto devem ser utilizados com os devidos cuidados. Para locais onde é conhecido o coeficiente de escoamento pode-se utilizar a vazão resultante multiplicada pela concentração média (EMC).

Tabela 2: Carga sólida para diferentes usos do solo urbano (Ellis, 1996).

| Uso do solo urbano | Máximo ton.km ⁻² .ano ⁻¹ | Mínimo ton.km ⁻² .ano ⁻¹ | EMC mg.l ⁻¹ |
|-----------------------------|---|---|---------------------------|
| Estradas | 72 | 28 | 250 |
| Industrial/Comercial | 137 | 24 | 280 |
| Residencial baixa densidade | 34 | 6 | 100 |
| Residencial média densidade | 55 | 10 | 187 |
| Residencial alta densidade | 76 | 13 | 250 |
| Estacionamentos | 76 | 12 | - |
| Parques | 59 | 8 | - |
| Áreas em construção | 8400 | 2200 | - |

Observação: EMC é a concentração média de sedimentos por evento.

Na tabela 3 são apresentados alguns valores obtidos para cidades brasileiras, de acordo com a literatura. Os valores apresentados na tabela 3 são bastante semelhantes entre si, principalmente se forem

consideradas além das diferenças entre as bacias, as diferentes formas de estimativa. A primeira estimativa para o rio Tietê, assim como a estimativa para o Arroio Dilúvio, em Porto Alegre, têm valores relativamente menores, e isto pode ser explicado porque estas foram baseadas no volume de material dragado, que representa apenas uma parte do aporte total, já que parte do sedimento segue sendo transportado pelo rio. O volume de material sólido que deposita na represa da Pampulha tem um valor relativamente alto, o que pode ser explicado pelo fato da represa ter maior capacidade de retenção de sedimentos do que os trechos de canal.

Tabela 3: Estimativas de material sólido depositado na rede de drenagem de bacias urbanas brasileiras.

| Local | Tipo de estimativa | Volume m ³ /km ² .ano | Referência |
|-----------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|
| Rio Tietê São Paulo | em material dragado | 393 | Nakae e Brighetti (1993) |
| Rio Tietê São Paulo. | em material do leito dos afluentes | 1400 | Lloret Ramos et al. (1993) |
| Represa Pampulha M.G. | da assoreamento 1957 a 1994 | 2436 | Oliveira e Baptista (1997) |
| Arroio Dilúvio R.S. | material dragado | 750 | DEP (1993) |

Problemas de sedimentos em algumas cidades brasileiras

Bauru: Muitas cidades brasileiras estão situadas em áreas de solo arenoso, mais suscetível à erosão. Um exemplo é Bauru, no interior do estado de São Paulo, onde a erosão urbana atingiu níveis críticos (Cavaguti e Silva, 1993). Nesta cidade o aumento e a concentração do escoamento superficial, lançado sobre a rede de drenagem natural, resultou no surgimento de voçorocas que cresceram rapidamente, não obstante o esforço do município em aterra-las. As voçorocas destruíram pelo menos 9 moradias e resultaram na perda de uma vida. A jusante, o sedimento originado nas voçorocas depositou, obstruindo um lago e uma estação de recalque de abastecimento urbano.

As causas citadas (Cavaguti e Silva, 1993) como iniciadoras dos processos erosivos em Bauru foram: aumento e concentração do escoamento pela impermeabilização, ausência de sistema de drenagem, traçado inadequado das ruas e estradas, desmatamento e falta de infraestrutura em núcleos habitacionais.

Região metropolitana de São Paulo: A região metropolitana de São Paulo se desenvolveu com muita rapidez a partir da década de 50, na área das bacias dos rios Tietê e Pinheiros, um de seus afluentes. Os solos das cabeceiras, particularmente frágeis e de topografia acidentada, foram ocupados de maneira desordenada, resultando, em primeiro lugar, num aumento da intensidade e da frequência das cheias e, em segundo lugar, no aumento da produção de sedimentos.

O rio Pinheiros sofreu a implantação de estruturas de controle e teve seu fluxo invertido. A velocidade de escoamento e a capacidade de transporte foi reduzida e resultou na deposição de praticamente todo o material sólido aportado. A retirada do material por dragagem se tornou indispensável neste rio (Lloret Ramos, 1995).

As medições de descarga sólida realizadas nos rios das bacias do Tietê e Pinheiros são, talvez, as mais completas no âmbito de bacias urbanas. Foram analisadas separadamente a descarga sólida de arraste, descarga em suspensão e carga de lavagem.

Região metropolitana de Curitiba: As obras previstas na implantação do parque e do sistema de controle de cheias do rio Iguaçu, na região metropolitana de Curitiba, foram avaliadas do ponto de vista das possíveis alterações morfológicas e de assoreamento do rio (Prosam, 1997). Neste estudo foram realizadas medições de concentração de sedimentos em suspensão nos rios afluentes, que parecem ser semelhantes aos valores medidos em São Paulo.

Belo Horizonte: A bacia da Pampulha localizada nos municípios de Belo Horizonte e Contagem, no estado de Minas Gerais, sofreu uma ocupação urbana rápida e intensa. Em consequência a represa da Pampulha, localizada na bacia, foi assoreando rapidamente. Quatro levantamentos batimétricos do reservatório, realizados nos últimos 40 anos, foram utilizados por Oliveira e Batista (1997) para uma análise temporal do assoreamento. O aporte anual médio de sedimentos,

calculado a partir do volume assoreado, no período de 1957 a 1994 corresponde a $2436 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{ano}^{-1}$ (tabela 3). A produção de sedimentos na bacia aparentemente ainda está longe de diminuir, embora quase toda a bacia esteja ocupada.

Paralelamente ao estudo de assoreamento foi realizada uma estimativa da produção de sedimentos da bacia utilizando a MUSLE. A relação entre o volume assoreado e a estimativa de produção de sedimentos da bacia variou entre 0,34 e 0,47.

Porto Alegre: O arroio Dilúvio, que é uma das bacias urbanas mais importantes da cidade de Porto Alegre, tem um canal principal com uma seção de projeto para cheias de tempo de retorno superiores a 50 anos. Dentro do canal existem degraus dissipadores de energia. Durante as vazões médias e baixas, que ocorrem 95% do tempo a velocidade do escoamento é muito pequena, proporcionando condições para deposição de sedimentos. O canal assoreado cria meandros internos e a vegetação cresce rapidamente nas áreas de depósito de sedimentos e nutrientes, consolidando ilhas e bancos. Desta forma a capacidade de descarga durante as enchentes fica comprometida, exigindo constantes limpezas do canal. O volume de material sólido retirado anualmente do trecho inferior do arroio é de 60000 m^3 (DEP, 1993).

Controle da erosão e sedimentação em áreas urbanas

O controle dos sedimentos pode ser realizado: (i) na bacia de forma

distribuída; (ii) no canal.

O controle no canal envolve a definição de velocidade mínima, melhor estimativa das cargas de sedimentos, redimensionamento de seções transversais e declividade, e o estabelecimento de trechos para deposição programada para limpeza. O custo do controle no sistema de drenagem geralmente fica para o poder público independentemente da fonte causadora, além de representar custos extremamente altos.

O controle distribuído pode ser estrutural ou não estrutural. Guy (1967) compara o problema de geração de sedimentos em bacias urbanas com o problema de geração de sedimentos pela atividade de mineração e sugere o uso de regulamentações da atividade mineradora no estado americano da Pennsylvania, que são um exemplo de controle não estrutural para o controle da produção de sedimentos em bacias urbanas. Na Pennsylvania as atividades de mineração devem, por lei, utilizar diferentes técnicas, dependendo da declividade do terreno. Até mesmo a licença para a mineração pode não ser concedida, se os custos que deverão incidir sobre terceiros forem muito elevados.

O controle estrutural distribuído do escoamento e dos sedimentos tem sido desenvolvido nos países desenvolvidos através da BMP (*Best Management Practices*) que envolvem o controle da quantidade de água, sedimentos e qualidade da água através de ações distribuídas na bacia hidrográfica. As principais ações de controle na bacia são descritas abaixo.

Reservatórios: Os reservatórios podem ser secos, quando atuam basicamente sobre o volume e com lâmina de água, quando atuam sobre os sedimentos e a qualidade da água. No primeiro caso, existem os reservatórios secos *extended*, que retêm o volume por um período de 24 horas, para minimizar o impacto dos sedimentos e da qualidade da água. O ideal é instalar, já no início do loteamento, reservatórios cuja função primeira será reter os sedimentos gerados na etapa crítica de abertura de ruas, remoção da camada vegetal e movimentação de volumes para aterro. Os mesmos reservatórios podem ser utilizados também para minimizar o efeito da urbanização sobre os picos de cheia (Tucci e Genz, 1995).

Infiltração: bacias de infiltração, trincheiras que permitem que o escoamento recupere as suas condições de infiltração;

Área úmida (*wetland*) : utilizado como um reservatório com lâmina de água, mas com vegetação aquática que consome os nutrientes e retem os sedimentos.

Pavimentos Permeáveis: Este tipo de dispositivo é utilizado em passeios e estacionamentos de carros leves, permitindo maior infiltração da precipitação.

Na tabela 4 são apresentados alguns valores da literatura internacional sobre estes dispositivos quanto a eficiência de remoção dos sedimentos em suspensão, amortecimento de cheia, custos de implementação e manutenção.

Tabela 4: Eficiência e custo de medidas de controle (adaptada de Ellis, 1996).

| Medida | Eficiência de remoção de sedimentos suspensos | Controle de cheia | Custo total anual (construção e operação) |
|---------------------------------|---|-------------------|---|
| Reservatório seco | 35 % | alto | 0.005 US\$.m ⁻³ |
| Área úmida (wetland) | 68 % | alto | - |
| Reservatório parcialmente cheio | 75 % | alto | 0.001 US\$.m ⁻³ |
| Bacia de infiltração | 75 % | médio | 0.001 US\$.m ⁻³ |
| Áreas de filtros vegetais | 70 % | baixo | 300 US\$.ha ⁻¹ |
| Interceptadores | 15 % | baixo | 200 US\$.ha(drenado) ⁻¹ |
| Pavimento poroso | 85 % | médio | 0.014 US\$.m ⁻² |

Conclusão

A drenagem urbana representa hoje uma fonte importante de prejuízos para população urbana das cidades, devido as frequentes inundações, ao tráfico interrompido e à deterioração ambiental. Muito pouco tem sido realizado no sentido de buscar controlar esse processo no Brasil. A posição que se costuma adotar é de resignação frente à fatalidade de um evento “natural”! Quando na realidade, o impacto foi gerado pela urbanização inadequada, que requer medidas preventivas de

controle distribuído e regulamentação. Para que isto ocorra são necessárias medidas administrativas e técnicas que são implantadas através do Plano Diretor Urbano.

Referências

- Cavaguti, N.; Silva, M. J. D. 1993 Desenvolvimento urbano, erosão e degradação dos recursos hídricos por assoreamento em Bauru, S.P..*Anais X Simpósio brasileiro de recursos hídricos*. Gramado.
- Dawdy, D. R. 1967 Knowledge of sedimentation in urban environments. *Journal of the hydraulics division ASCE* V 93 No. HY 6 p. 235-245.
- DEP 1993 *Concurso Arroio Dilúvio - Edital nº 01/93* Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Esgotos Pluviais 12 p.
- Ellis, J. B. 1996 Sediment yield and BMP control strategies in urban catchments. *Proceedings Erosion and sediment yield: Global and regional perspectives*. IAHS, Exeter. July.
- Guy, H. P. 1967 Research needs regarding sediment and urbanization. *Journal of the hydraulics division ASCE* V 93 No. HY 6 p. 247-254.
- Leopold, L. T. 1968 *Hydrology for urban planning - A guide book on the Hydrologic effects of urban land use*. USGS circ. 554 18 p.
- Lloret Ramos, C. 1995 *Erosão urbana e produção de sedimentos* In: Drenagem urbana. Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH 428 p.
- Lloret Ramos, C.; Helou, G. C. N.; Brighetti, G. 1993 Dinâmica do

transporte sólido nos rios Tietê e Pinheiros na região metropolitana de São Paulo. *Anais*. X Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Gramado.

Nakae, T.; Brighetti, G. 1993 Dragagem a longa distância aplicada ao desassoreamento da calha do rio Tietê. *Anais*. X Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Gramado.

Oliveira, M. G. B.; Baptista, M. B. 1997 Análise da evolução temporal da produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha e avaliação do assoreamento do reservatório. *Anais*. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH. Vitória.

PROSAM 1997 *Parque e controle de cheias no alto Iguaçu*. Curitiba 76 p.

Tucci, C. E. M.; Genz, F. 1995 *Controle do impacto da urbanização* In: Drenagem urbana. Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH 428 p.