

**Cleverson de Oliveira**

*Faculdade Anhanguera de Jundiaí*

cleverson.oliveira@unianhanguera.edu.br

## AS ESTRUTURAS DE CONTROLE E A REDUÇÃO DAS CARGAS DIFUSAS

---

### RESUMO

Os poluentes gerados não somente pelo processo de urbanização em si, mas pela própria sustentação do núcleo urbano, ou seja, poluição atmosférica, depósitos de lixo doméstico e industrial, sedimentos originados em loteamentos, depósitos de materiais tóxicos verificados ao longo das vias pavimentadas, são arrastados pelas chuvas, atingem as redes de drenagem e, por meio destas, depositam-se nos rios e lagos. A essa carga poluidora carregada pelo escoamento superficial originado pela precipitação atmosférica dá-se o nome de carga poluidora difusa. Os reservatórios de acumulação de parte, ou de toda a água excedente proveniente do escoamento superficial originado nas precipitações, têm tradicionalmente o papel de amortecer o hidrograma de cheia. Deveriam, porém, desempenhar, também o de melhorar a qualidade da água desse escoamento superficial o que significa, em última instância, melhorar diretamente a qualidade da água de nossos rios e lagos.

**Palavras-Chave:** poluição difusa; qualidade da água; estruturas de controle.

---

### ABSTRACT

It is known that the pollutants generated not only by the urbanization process but also in the use of the urban center itself, that is, atmospheric pollution, domestic and industrial landfills, sediments originated in construction sites and deposits of toxic materials found on paved roads are dragged by the downpours, reach the sewerage systems and through them settle down in rivers and lakes. To this polluting load carried by the runoff we call diffuse pollution. Detention and retention reservoirs that catch part or all the runoff can take the role of depleting the excess rainfall hydrograph. Besides they can also improve the water quality of this runoff which means eventually to improve the water quality of our rivers and lakes.

**Keywords:** diffuse pollution; water quality; control structures.

#### Anhanguera Educacional

Correspondência/Contato

Alameda Maria Tereza, 2000

Valinhos, São Paulo

CEP 13.278-181

rc.ipade@unianhanguera.edu.br

Coordenação

Instituto de Pesquisas Aplicadas e

Desenvolvimento Educacional - IPADE

Artigo Original

Recebido em: 20/10/2009

Avaliado em: 28/01/2010

Publicação: 21 de dezembro de 2010

## 1. INTRODUÇÃO

Se é verdade que a urbanização trouxe inúmeros benefícios ao homem, a degradação do meio ambiente, que veio com ela, atinge hoje níveis alarmantes e embora o equacionamento entre os supra citados objetivos não tenha ainda sido alcançado, o próprio senso comum é o suficiente para nos dizer que o gerenciamento ambiental deve ser repensado urgentemente.

A degradação dos rios e lagos é sem dúvida uma das que mais ameaça a continuidade do progresso urbano e a nossa própria vida, uma vez que áreas abundantes em recursos hídricos podem ser insuficientes para atender à demanda existente, quer por apresentar altas concentrações populacionais, gerando uma demanda superior ao volume disponível, quer porque essa água não dispõe da qualidade exigida.

Muitos trabalhos apontam a necessidade econômica de se controlar a poluição por cargas difusas, porém, esbarram nas dificuldades associadas à sua regularização, sobretudo no que tange ao controle de áreas agricultáveis, onde os parâmetros intervenientes são muitos. Fato é que, atualmente, cargas difusas geradas quer no meio urbano, quer no rural, estão entre as maiores fontes poluidoras das águas superficiais.

Infelizmente a urbanização não gerou apenas degradação dos corpos de água. O processo de urbanização também levou à impermeabilização do solo o que gerou não somente um considerável aumento do volume de escoamento superficial, mas diminuiu, ainda, o tempo de concentração da bacia. Volumes maiores de escoamento associados a tempos menores para esse escoamento atingir corpos receptores, além da ocupação de áreas próximas à rios, geram picos de cheia maiores e as conseqüentes enchentes urbanas.

Uma vez que um considerável número de medidas estruturais estão sendo tomadas objetivando o controle de volume de escoamento, notoriamente com a construção dos chamados “piscinões”, esse é o momento de acrescentar o conceito de qualidade da água em seus parâmetros de projeto.

## 2. A POLUIÇÃO DIFUSA

Gaffney *apud* Novotny (1988) nos recorda que em seus primórdios toda a poluição era difusa, tornando-se pontual somente quando as pessoas de áreas urbanas e industriais coletaram o escoamento superficial direto e o esgoto e os levaram para locais pontuais de disposição.

Como a precipitação atmosférica é a causa principal do escoamento direto, estabelece-se uma correlação direta entre a poluição difusa, a carga poluidora, o volume precipitado e as características físicas da bacia hidrográfica. Tal característica a distingue da poluição pontual, que apresenta muito pouca relação com a hidrologia da bacia (NOVOTNY, 1993).

A poluição difusa, pelo exposto anteriormente, inicia-se no transporte atmosférico de poluentes e sua ocorrência e magnitude estão estreitamente relacionados com o ciclo hidrológico. Tal fato introduz um componente fortemente imprevisível nesse tipo de carga poluidora. Além disso, modificações hidrológicas na bacia podem aumentar ou atenuar a carga poluidora difusa (NOVOTNY, 1993).

O escoamento gerado pela precipitação atmosférica, segundo Novotny (1993) tem três componentes:

- a) Escoamento superficial: é o escoamento residual da precipitação depois que todas as perdas tenham sido descontadas; como perdas entende-se as porções interceptadas e armazenadas pela vegetação e pelas depressões do relevo, infiltração no solo, evaporação proveniente do solo e de corpos de água superficiais e pela transpiração dos vegetais.
- b) Percolação: é a porção infiltrada que se move horizontalmente em direção à menor permeabilidade do subsolo.
- c) Escoamento de aquíferos subterrâneos.

A qualidade da água originada no escoamento superficial direto está relacionada com a intensidade de erosão por precipitação e a quantidade de contaminantes acumulados tanto na superfície do solo quanto na atmosfera (NOVOTNY, 1993).

Os núcleos urbanos tendem a apresentar ambos tipos de poluição em abundância. A emissão de dióxidos sulfúreos e óxidos de nitrogênio pela combustão de carvão e de hidrocarbonetos, aerossóis particulados contendo sulfura, metais tóxicos e pesticidas entre outros compostos químicos têm sido envolvidos no problema de poluição atmosférica das grandes cidades, o que torna a carga difusa do núcleo urbano altamente poluidora.

A erosão urbana é outro gerador de carga poluidora, cujos sedimentos se originam, principalmente, de solos expostos em áreas que contenham canteiros de obras e com a poeira e o lixo acumulados nas ruas, sobretudo as impermeáveis. Sedimentos oriundos de áreas em desenvolvimento podem, em alguns casos, atingir valores da ordem de 50.000 toneladas km<sup>2</sup> ao ano (NOVOTNY, 1993).

De forma similar, a erosão de estradas de rodagem é associada à eliminação da vegetação natural de proteção em grandes áreas durante a construção das mesmas. Solo

não compactado ou até mesmo solto pode sofrer erosão sobretudo os que formam sulcos ao longo dos taludes laterais. A magnitude de sedimentos gerados nessas áreas é similar à gerada em áreas em desenvolvimento (NOVOTNY, 1993).

O carreamento de solo, além da carga de sedimentos que gera, traz também outros tipos de poluentes, uma vez que o solo pode reter, modificar, decompor ou adsorver poluentes. A cada ano uma enorme quantidade de material orgânico, contaminantes presentes na atmosfera e resíduos sólidos e líquidos são depositados e incorporados ao solo. De fato foi apontado por um grupo de notáveis especialistas em solo que poluentes prejudiciais provenientes das atividades humanas estão sendo acumulados gradualmente no solo e em sedimentos ao longo dos últimos 2.000 anos (STIGLIANI, 1991 *apud* NOVOTNY, 1993).

Uma vez que os sistemas de aquíferos e de águas superficiais são interconectados tanto pela recarga quanto pela descarga, a poluição difusa possui duas vias para atingi-los.

A carga poluidora difusa foi identificada como a maior causa de poluição dos corpos de água superficiais nos Estados Unidos da América (U.S. EPA, 1984; ATHAIDE; MYERS; TOBIN, 1986; MYERS et al., 1985 *apud* NOVOTNY, 1993), sendo que em 1988 foi constatado que a água de escoamento superficial direto urbano era a quarta maior causa da degradação da qualidade da água dos rios americanos e a terceira maior fonte de degradação de lagos (U.S. EPA, 1990a *apud* NOVOTNY, 1993).

Análises microbianas de água de chuva em Baltimore, Maryland, Estados Unidos da América, executados pela Universidade Johns Hopkins (OLIVIERI et al., 1977 *apud* NOVOTNY, 1993) revelaram a presença de coliformes, organismos patogênicos e viroses em escoamentos; o índice de coliforme fecal encontrado em 123 amostras, em um universo de 136, era superior a 2.000 MPN/100ml, e nessas 95% das amostras eram positivas para *Salmonella*.

Na verdade não é o uso do solo em si que causa a poluição; ela é causada por vários processos e atividades distintos, muitos já mencionados, que podem ser divididos em (NOVOTNY, 1993):

- a) poluição contida na precipitação;
- b) erosão de áreas permeáveis;
- c) acúmulo de deposições atmosféricas secas (poeira e outros resíduos inorgânicos, por exemplo), sujeira e pó de ruas e resíduos orgânicos oriundos de população vegetal e animal;
- d) emissão proveniente do tráfego veicular.

Embora o escoamento superficial se origine tanto em superfícies permeáveis quanto em impermeáveis, essas últimas são quase sempre hidrológicamente ativas porque o armazenamento em depressões na superfície é muito pequeno o que faz com que a carga poluidora gerada em áreas impermeáveis dependa da quantidade de poluentes acumulados durante o período de seca precedente à precipitação. Já o acúmulo existente em áreas permeáveis é muito maior e, normalmente, somente precipitações intensas produzirão escoamento superficial e carga de sedimentos.

### 3. FORMAS DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DIFUSA

Como formas de controle da poluição difusa têm-se medidas ditas estruturais e normalmente custosas e as não estruturais, usualmente mais simples e menos custosas. O termo “*Best Management Practices*” ou BMP refere-se, em geral, às medidas não estruturais e, portanto, menos agressivas. Em relação ao controle da poluição difusa, Novotny (1993) sugere que:

- a) a forma mais eficiente de controle de qualidade do escoamento reduz o seu pico e volume;
- b) a próxima medida mais eficiente reduz o pico do escoamento;
- c) para pequenas precipitações o pico do escoamento não deveria exceder o pico para uma precipitação de retorno de dois anos gerada no período pré-urbanização;
- d) a maioria dos poluentes indesejáveis do escoamento superficial urbano podem ser sedimentados; entretanto uma porção expressiva de nutrientes e alguns metais pesados encontram-se dissolvidos e requerem tratamento posterior.

Como a urbanização aumenta as cargas poluidoras como, por exemplo, as advindas das inundações, práticas similares podem ser utilizadas para a solução de ambos os problemas (NOVOTNY, 1993).

Esse conceito se contrapõe ao tradicional combate às inundações e outros problemas de drenagem, especialmente em áreas urbanas, que se dava por meio de sistemas de captação da água precipitada, tais como sarjetas, bocas de lobo, canalização de córregos, entre outros, de forma a possibilitar o rápido escoamento da água de chuva (TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985).

Em oposição à essa prática e objetivando “[...] minimizar o impacto biológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica” (TUCCI et al., 1995), introduziu-se uma nova abordagem do problema através do armazenamento e detenção da água precipitada, ao invés de escoá-la rapidamente. Essa tendência técnica

em deter a água ao invés de escoá-la rapidamente também é citada no trabalho do *Task Committee on the Design of Outlet Control Structures* (1985).

Como conseqüência desse método, considerado potencialmente mais eficiente, que consiste em coletar e deter temporariamente parte ou todo o volume de água de chuva durante ou imediatamente após a precipitação, pode-se, em muitos casos evitar os prejuízos materiais e humanos advindos da inundação ou, pelo menos, mitigá-los, além de possibilitar que as instalações hidráulicas de jusante possam ser de menor porte e, portanto, a custo menor (NOVOTNY, 1993).

Pode-se notar no trabalho do *Task Committee on the Design of Outlet Control Structures* (1985) que durante a última década a idéia de se utilizar essas estruturas de retenção para a melhoria da qualidade da água tem sido cada vez mais aceita.

Sabe-se que uma das fontes de poluição dos corpos de água naturais são os diversos detritos depositados na superfície de ruas, calçadas, estacionamentos e áreas afins que, carregados pelo escoamento superficial diretos, atingem esses rios e lagos.

As estruturas de retenção da água são compostas basicamente de estrutura de entrada, corpo de armazenamento e estrutura de descarga, sendo que essa última tem crucial importância uma vez que controla a vazão de saída, a profundidade do lago e o volume detido, o que pode gerar conflito entre suas diversas funções.

Por conflito deve-se entender que o favorecimento de uma finalidade geralmente prejudica uma outra. Por exemplo, tem-se que vazões de saída muito pequenas eliminam completamente as ondas de cheia. Por outro lado tal finalidade necessita de reservatórios grandes, e portanto de alto custo; grandes profundidades reservam muita água em um espaço pequeno, porém não favorecem a melhoria da qualidade da água.

A pesquisa bibliográfica demonstrou que a literatura sobre o assunto aborda, em sua maioria, estruturas de retenção associadas a grandes projetos de recursos hídricos ou a reservatórios de contenção de enchentes. Critérios de projeto foram obtidos quase que integralmente da literatura internacional, majoritariamente nas publicações norte-americanas.

#### 4. AS ESTRUTURAS DE DETENÇÃO E A REMOÇÃO DA POLUIÇÃO DIFUSA

Pequenas estruturas de retenção são abordadas pelo *Soil Conservation Service* (U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE HYDROLOGY HANDBOOK *apud* TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985), mas suas utilizações são rurais.

Embora ofereça subsídios importantes para o dimensionamento de estruturas de armazenamento em geral, não atendem às demandas específicas impostas pelos núcleos urbanos, quais sejam coeficiente de segurança, estética, facilidade de manutenção, cuidados sanitários que restrinjam a proliferação de vetores, entre outros,

A seguir ilustram-se os detalhes de algumas estruturas utilizadas nos Estados Unidos da América (Figuras 1 à 7, cedidas pela Prof<sup>a</sup>. Dra. Monica Ferreira do Amaral Porto).



Figura 1 – Detalhe de estrutura da saída em área de reserva de água de escoamento superficial. Trata-se de um reservatório pequeno - Denver, Estados Unidos.

O sucesso no planejamento de uma estrutura de armazenamento depende da compreensão global, não só das metas do sistema de drenagem existente, mas também dos objetivos da estrutura e de seus critérios de projeto. Em tal caso a definição do papel desempenhado pela estrutura de armazenamento se torna essencial para que ela vá ao encontro dos objetivos estabelecidos, quando então, pode-se definir os critérios de dimensionamento para as estruturas de descarga.



Figura 2 – Ilustração de pequeno reservatório incorporado ao paisagismo da área residencial - Fort Collins, Estados Unidos



Figura 3 – Outro exemplo de estrutura pequena para o armazenamento temporário da carga difusa - Denver, Estados Unidos.



Figura 4 – Estrutura de saída de uma área de detenção da carga difusa urbana - Fort Collins, Estados Unidos.

Esse pensamento fica claro quando se projeta uma estrutura que será utilizada, nos períodos de seca, como área de lazer para caminhadas e esportes terrestres; tal dispositivo deverá ser do tipo “Reservatório Seco”, pois não apresentará nível permanente de água. A partir do estabelecimento desse critério, parâmetros de dimensionamento serão impostos a fim de que a estrutura possa ser utilizada da forma pré concebida, mostrando a importância de se associar a compreensão global do sistema à escolha dos critérios de dimensionamento.

Sem o claro estabelecimento e conceituação de fatores usualmente conflitantes, tais como econômicos, de desenvolvimento regional atual e futuro, de abastecimento de água e meio ambiente, qualquer projeto de tais estruturas estará fadado ao sucesso parcial ou, equivalentemente, ao fracasso da otimização do binômio custo/benefício.

Notoriamente nesse aspecto, o *Task Committee on the Design of Outlet Control Structures* (1985) salienta a importância de o projetista ter em mente as respostas a duas indagações básicas:

1. É importante deter uma grande porção do volume escoado ou é satisfatório a mera redução do pico do hidrograma de escoamento?
2. Até onde a qualidade da água deveria ser melhorada e para quais poluentes?

Medidas de controle utilizadas no gerenciamento de chuvas intensas tais como reservatórios secos ou com lago permanente, técnicas de infiltração e sistemas de lagos com vegetação têm demonstrado melhorar a qualidade da água, além de controlar enchentes (RANDALL, 1982).

Relativamente à qualidade da água, sabe-se que o escoamento superficial direto usualmente contém diversos poluentes como sólidos dissolvidos ou em suspensão, metais pesados, óleos e graxas, bactérias, coliformes fecais, pesticidas, nutrientes em geral e outras substâncias. Reservatórios secos podem, sob certas circunstâncias, remover ou diminuir a concentração de tais poluentes por meio de vários mecanismos diferentes, o que leva a conclusão que a melhoria da qualidade da água deveria ser um dos critérios de projeto em bacias urbanas (RANDALL et al., 1982).

Em complemento, os sólidos suspensos são os poluentes mais comuns encontrados no escoamento superficial urbano e o mais eficazmente retirado em estruturas de detenção. A remoção de sólidos suspensos também remove uma variedade de poluentes que têm alta afinidade por partículas. Adsorvida à superfície destas partículas, está uma grande variedade de poluentes, particularmente os orgânicos derivados do petróleo, metais pesados e fosfatos não dissolvidos (TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985).

A análise de sedimentação pode não ser aplicável como indicador da eficiência do sistema em reter poluentes particulados oriundos dos escoamentos superficiais diretos de núcleos urbanos, uma vez que as relações entre o tamanho da partícula e a velocidade de sedimentação não consideram as diferentes importâncias dos vários poluentes. Além disso a associação dos vários poluentes encontrados na carga difusa com partículas ainda não foi determinada (TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985).

A eficiência de detenção dependerá de vários fatores, entre os quais do poluente específico em estudo, de sua concentração durante o evento, do volume precipitado, do tempo de detenção do reservatório, da velocidade de escoamento das estruturas de saída

e da técnica de gerenciamento utilizada, bem como das características específicas de projeto (RANDALL et al., 1982).

Em geral, análises de sedimentação podem ser utilizadas no controle de poluição por carga difusa, desde que se tome o cuidado de considerar que a remoção individual de poluentes não corresponde bem à remoção de sólidos suspensos totais (RANDALL et al., 1982).

Sabe-se, também, que as lagoas de sedimentação usualmente não removem adequadamente as partículas de tamanho reduzido porque essas permanecem suspensas, atingindo as estruturas de descarga e passando através do sistema.

Esse fato pode ser particularmente preocupante, uma vez que a literatura tem apontado essas partículas finas como as que se associam com muitos dos poluentes encontrados no escoamento superficial (TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985).

Mesmo que as taxas de remoção de partículas pequenas tenham sido relatadas (WHIPPLE, HUNTER, 1980), sobretudo ocasionada pela ação da aglomeração, caso as concentrações remanescentes após tratamento ameacem as metas de qualidade da água impostas pelo projeto, pode ser necessário o uso de produtos de coagulação. Tal tratamento, entretanto, é raramente justificável ou possível.

Poucos estudos a respeito da sedimentação de poluentes advindos de carga difusa têm sido realizados, embora haja relatos sobre o desempenho de estruturas de detenção em relação a parâmetros de qualidade da água (RANDALL, 1982).

Dois dos mais importantes estudos são os desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas de Recursos Hídricos de New Jersey, Estados Unidos da América, na Universidade Rutgers e o do Laboratório de Monitoramento da Bacia de Occoquan, em Manassas, estado da Virgínia, também nos Estados Unidos da América (WHIPPLE, HUNTER, 1980); (WHIPPLE JR., 1980 *apud* TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985).



Figura 5 – Bacia de detenção de Mill Road, Monroe County, Nova Iorque, Estados Unidos - detalhes.  
Fonte: Disponível em: <<http://www.ny.water.usgs.gov>>. Acesso em: 05 nov. 2003.



Figura 6 – Bacia de detenção de Mill Road, Monroe County, Nova Iorque, Estados Unidos - detalhes.  
Disponível em: <<http://www.ny.water.usgs.gov>>. Acesso em: 05 nov. 2003.

Em ambos os casos, as amostras de escoamento superficial foram colocados em tubos de laboratório para sedimentação, determinando-se a quantidade de cada poluente sedimentado em um dado tempo.

Os resultados desses estudos demonstraram que os índices substanciais de remoção de poluentes podem ser alcançados por meio da sedimentação provocada pela ação da gravidade, desde que se evite a movimentação turbulenta dessa água, eliminando assim a possibilidade de ressuspensão das partículas sólidas, e de que o tempo de detenção seja longo. Os poluentes mais suscetíveis de serem removidos são apresentados na Tabela 1, em ordem de eficiência de remoção:

Tabela 1 – Eficiência de remoção de poluentes por sedimentação (New Jersey).

<b>Poluente</b>	<b>Taxa de eficiência (%)</b>
Sólidos Suspensos Totais	70
Hidrocarbonetos	50
Chumbo	50
Demanda Bioquímica de Oxigênio	50
Fosfatos Totais	50
Demanda Química de Oxigênio	Pelo menos 30

Fonte: Task Committee on the Design of Outlet Control Structures (1985).

Além disso, foram relatados ainda a diminuição de carbono orgânico total e de nitrogênio total.

O estudo do Instituto de Pesquisas de Recursos Hídricos de New Jersey (WHIPPLE JR., abril, 1980 *apud* TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985) foi complementado por uma análise de sedimentabilidade de poluentes em bacias de detenção providas de rígido controle de descarga.

Após um período de trinta e duas horas, a sedimentabilidade de amostras de água com vários poluentes de carga difusa em tubos de ensaio mostrou uma razoável aproximação entre a eficiência de retenção de um mesmo poluente particular e os resultados da supracitada análise de sedimentabilidade, em uma bacia de detenção específica, o que pode indicar uma tendência. Esses resultados, entretanto, devem ser vistos com cuidado, uma vez em que os fatores intervenientes no processo são muitos e dificilmente encontrar-se-ão duas bacias de detenção iguais, quer em seu projeto físico, quer na composição do escoamento superficial à que estará exposta.

Estudo similar, efetuado pela Divisão de Controle de Poluição de Ottawa - Carleton (GIETZ JR., 1983 *apud* TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985), sobre a eficiência de retenção de poluentes em bacias de detenção relatou os seguintes índices de remoção no tratamento por sedimentação:

Tabela 2 – Eficiência de remoção de poluentes por sedimentação (Ottawa).

Poluente	Taxa de eficiência (%)
Sólidos Suspensos Totais	95
Fósforo Total	95
Coliformes Fecais	95
Streptococcus Fecais	95
Fósforo Total	95
Demanda Química de Oxigênio	Até 50

Fonte: Task Committee on the Design of Outlet Control Structures (1985) *apud* Gietz Jr. (1983).

Os resultados obtidos nesses estudos reiteram a complexidade da análise de cargas difusas, mostrando considerável variação na retenção de poluentes, tanto quanto ao tipo específico removido, quanto à taxa de remoção, entre localidades diferentes, sugerindo que variações similares podem ser antecipadas em outras regiões e que esses resultados só podem ser transpostos para locais em condições comprovadamente similares às pesquisadas.



Figura 7 – Bacia de detenção de Mill Road, Monroe County, Nova Iorque, Estados Unidos - localização.

Fonte: Disponível em: <<http://www.ny.water.usgs.gov>>. Acesso em: 05 nov. 2003.

Como resultado dos estudos acima apresentados, o controle de qualidade da água dos corpos receptores de carga de poluição difusa tem sido exigido nos Estados Unidos, destacadamente no Estado de New Jersey e no condado de Fairfax, além dos já consagrados controles de enchentes e de erosão (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, Preliminary Design Manual for BMP Facilities, Fairfax Co., Va. *apud* TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985).

## 5. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONTROLE

Kropp (1982) relatou recomendações advindas da já mencionada exigência de controle de qualidade da água dos corpos receptores de carga de poluição difusa (DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, *Preliminary Design Manual for BMP Facilities*, Fairfax Co., Va. *apud* TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985), especialmente aplicáveis a bacias de detenção, as mais comuns nessas duas localidades. Essas recomendações incluem (TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985):

1. Usar preferencialmente bacias com configuração longa e estreita, com relações de comprimento e largura da ordem de 2:1 ou 3:1. A distância entre a estrutura de saída e a de entrada deve ser maximizada, prolongando a trajetória da água e aumentando o tempo de detenção. A taxa de volume total de entrada é fator obviamente significativa e sua frequência relaciona-se com o fenômeno de precipitação/escoamento.
2. A dissipação de energia deve ser prevista em todos os sistemas de entrada da água, reduzindo a velocidade do escoamento, possibilitando a deposição de partículas e minimizando a ressuspensão de poluentes já depositados. O enrocamento ou outro dissipador qualquer pode ser utilizado.
3. A adoção de uma cobertura vegetal tolerante à água deveria ser utilizada na base da bacia e em seus taludes, a fim de manter altas taxas de infiltração de água de escoamento e auxiliar na decomposição das partículas já depositadas, sobretudo durante o período seco.
4. A incorporação de canais permeáveis de baixa velocidade de escoamento, compostos por enrocamento ou grama, pode ser adotada sob certas condições.
5. Canais permeáveis de escoamento lento aumentam o tempo de trajetória do escoamento através da bacia, aumentando a incidência de absorção de poluentes pelas partículas. Sugere-se canais de enrocamento associados a drenos que facilitem a filtração, pelo solo, de parte ou todo o escoamento superficial.

A desvantagem dos canais permeáveis de escoamento lento é que eles são mais difíceis de manter do que os canais impermeáveis, compostos de concreto, asfalto etc.

6. Recomenda-se a construção de bacias em série com dois ou mais estágios ou níveis. Uma bacia de sedimentação deveria receber o escoamento inicial e então, descarregá-lo em uma bacia maior para controle de enchente. Esse procedimento facilitaria a manutenção do sistema, uma vez que a maior parcela de deposição ficaria restrita à bacia de sedimentação. Além disso, poder-se-ia otimizar as configurações das estruturas, uma vez que certas características são conflitantes.
7. As estruturas de saída devem ser projetadas com taxas de descarga tais que acarretem um tempo de esvaziamento de aproximadamente quarenta horas, para uma dada chuva de projeto.

8. O programa de New Jersey usa uma chuva de um ano, vinte e quatro horas, como a chuva padrão para qualidade da água.

O programa do Condado de Fairfax usa uma profundidade de escoamento de aproximadamente 2,18 centímetros para superfícies impermeáveis e profundidades menores para as permeáveis.

9. Para as estruturas de saída da água, o programa do Condado de Fairfax sugere o uso de uma placa perfurada com orifícios de diâmetro entre 1,27 centímetros e 2,54 centímetros.

Já o programa de New Jersey não permite orifícios menores do que 7,62 centímetros, a fim de minimizar a possibilidade de obstrução.

10. Para facilitar a manutenção, pode-se adotar tubos com diâmetros maiores, variando entre 30,48 centímetros e 38,10 centímetros, cuja abertura de saída seja coberta por tampa removível contendo o tamanho adequado dos orifícios. Recomenda-se ainda que o orifício mais baixo esteja pelo menos 7,62 centímetros acima da base do tubo, a fim de reduzir a possibilidade de obstrução dessa saída pela ação da sedimentação.

11. Tais subsistemas compostos por condutos e tampas com orifícios, devem ser envoltos por tela ou gradil de proteção, de diâmetro várias vezes maior do que o do tubo.

Os orifícios da placa devem ser protegidos por anteparos para lixo que tenham uma área mínima variando entre 9.290 centímetros quadrados e 13.935 centímetros quadrados de área de superfície. As aberturas nos dispositivos de proteção devem ser suficientemente pequenos para restringir o entulho ou o lixo a atingir a estrutura de saída, embora suficientemente largos para prevenir a obstrução da tela ou do gradil.

Sugere-se gradil de dois estágios ou telas em série com o primeiro estágio de saída projetado para restringir grandes objetos e gradil interno ou tela para restringir objetos menores. Em todos os casos o dispositivo de proteção deve ser articulado ou facilmente removível para facilitar a retirada do material e do sedimento acumulados.

12. Cuidados especiais precisam ser tomados quando projeta-se anteparos de proteção para as estruturas de descarga, salvaguardando-as do lixo, ainda que não se tenha adotado o sistema proposto nos itens 9 e 10 dessa lista de recomendações.

Recomenda-se a instalação de grades que cubram uma grande área e que as aberturas dessas grades sejam adequadamente projetadas, evitando a obstrução da passagem de água e garantindo a segurança da estrutura a ser protegida.

13. O escoamento superficial que entra na bacia de detenção deveria ser desviado da área impermeável para a permeável, a fim de promover infiltração, filtração e sedimentação.

Além disso, as estruturas que adotam vegetação, tal como sugerido no item 3 dessa listagem de recomendações, promovem máxima interação entre o escoamento e a

cobertura de fundo além de permitir absorção de poluentes pelas partículas. Sedimentação e filtração serão otimizadas desde que a profundidade do escoamento não exceda a altura da vegetação. Lâminas de escoamento de pequena profundidade são ideais.

A literatura sugere ainda (TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985) que se adotem medidas de controle específicas, com o objetivo de solucionar problemas específicos de poluição. Por exemplo, a carga de nutrientes é melhor removida em bacias de retenção com lagos permanentes, por causa da atividade biológica encontrada nesses lagos permanentes; lagos secos, por outro lado, têm resultado negativo em relação à remoção de formas de nitrogênio e são significativamente menos eficientes na remoção de formas de fósforo.

Por causa dessa descoberta, o Estado de Maryland, nos Estados Unidos da América, (TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985) recomenda que todas as bacias que visem, como parte de seus objetivos, a melhoria da qualidade da água apresentem lagos permanentes.

Nas bacias de detenção, o projeto pode ser baseado na relação entre a sedimentabilidade de um poluente alvo e a velocidade de sedimentação de projeto da bacia. Correlaciona-se, então, esse fator com a porcentagem desejada de remoção do poluente alvo. Sugere-se que se faça uma análise de sedimentabilidade com amostras de escoamento oriundo da área prevista de captação da bacia para que se possa estabelecer dados de sedimentabilidade específicos da área de drenagem em questão antes de decidir sobre o projeto da bacia, uma vez que, como abordado anteriormente, esses dados dificilmente podem ser transpostos (TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985).

Se os dados de sedimentabilidade indicarem que a eficiência de remoção do poluente ou poluentes alvo não será suficiente para atingir as metas mínimas de qualidade estabelecidas, a infiltração do escoamento inicial - do idioma inglês *first flush* - pode ser a solução (U.S.E.P.A. *Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater* e U.S.E.P.A. Office of Technology Transfer, 1976 *apud* TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES, 1985).

Embora o uso e projeto de técnicas de infiltração não façam parte desse trabalho, é importante salientar que têm significante potencial de remoção de cargas suspensas e dissolvidas. Sua adoção, entretanto, requer cuidados especiais, sobretudo quando se trabalha com solos com altas taxas de percolação, áreas em que o lençol freático esteja

muito próximo à superfície ou quando se tratar de poluentes que têm potencial de migração, pois nesses casos, poderá haver contaminação dos aquíferos naturais.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que a poluição difusa se inicia no transporte atmosférico de poluentes e sua ocorrência e magnitude estão estreitamente relacionados com o ciclo hidrológico o que, conseqüentemente, introduz um componente fortemente imprevisível nesse tipo de carga poluidora. Além disso, modificações hidrológicas na bacia podem aumentar ou atenuar a carga poluidora difusa.

Os núcleos urbanos tendem a apresentar várias fontes de poluição em abundância, tais como a emissão de dióxidos sulfúreos e óxidos de nitrogênio pela combustão de carvão e de hidrocarbonetos, aerossóis particulados contendo sulfura, metais tóxicos e pesticidas, entre outros compostos químicos, a erosão originada principalmente de solos expostos, em áreas que contenham canteiros de obras e com a poeira e o lixo acumulados nas ruas e a erosão de estradas de rodagem.

Embora o escoamento superficial se origine tanto em superfícies permeáveis quanto em impermeáveis, essas últimas são quase sempre hidrológicamente ativas porque o armazenamento em depressões na superfície é muito pequeno, o que faz com que a carga poluidora gerada em áreas impermeáveis dependa da quantidade de poluentes acumulados durante o período de seca precedente à precipitação. Já o acúmulo existente em áreas permeáveis é muito maior e, normalmente, somente precipitações intensas produzirão escoamento superficial e carga de sedimentos.

Isso leva à imediata conclusão de que embora a poluição por carga difusa possa existir em qualquer localidade, o problema é especialmente grave em núcleos urbanos pelo fato desses combinarem o acúmulo de carga poluidora com uma grande área impermeável.

Com a urbanização aumenta-se tanto as cargas poluidoras como as inundações. Logo práticas similares podem ser utilizadas para a solução de ambos os problemas (NOVOTNY, 1993).

Constatou-se na literatura que durante a última década a idéia de se utilizar estruturas de detenção também para a melhoria da qualidade da água tem sido cada vez mais aceita.

Conclui-se que não há uma técnica de reservação que seja a melhor para todas as situações de combate à carga poluidora difusa porque cada uma delas possui seus pontos

fortes e suas fraquezas. Além disso, cada localidade fornecerá limitações diferentes aos projetistas que terão, então, que adequar as técnicas existentes com a realidade local.

Vê-se que a adoção de uma única medida para o controle de poluição difusa é, em geral, inadequado. O mais eficiente é escolher as medidas estruturais, ou seja, “aquelas construídas para reduzir o volume e/ou remover os poluentes do escoamento” (TUCCI, 1995) e aliar a essas, medidas não-estruturais, ou seja, “aquelas relativas a programas de prevenção e controle de emissão dos poluentes” (TUCCI, 1995) tais como limpeza da cidade, incentivo à permanência de áreas permeáveis, preservação de áreas verdes etc.

## REFERÊNCIAS

- NOVOTNY, V.; OLEM, H. **Water quality: prevention, identification, and management of diffuse pollution**, New York, 1993.
- OLIVEIRA, C. **Crítérios de projeto para estruturas de reservação em drenagem urbana**. 2004. Dissertação (Mestrado). São Paulo.
- RANDALL, C. Storm Water Detention Ponds for Water Quality Control. **Proceedings of the Conference on Storm Water Detention Facilities**, 1982.
- RANDALL, C. et al. Urban Runoff Pollutant Removal by Sedimentation. **Proceedings of the Conference on Storm Water Detention Facilities**, 1982.
- TASK COMMITTEE ON THE DESIGN OF OUTLET CONTROL STRUCTURES. **Stormwater Detention Outlet Control Structures**. New York: 1985.
- TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. (Org.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428 p.