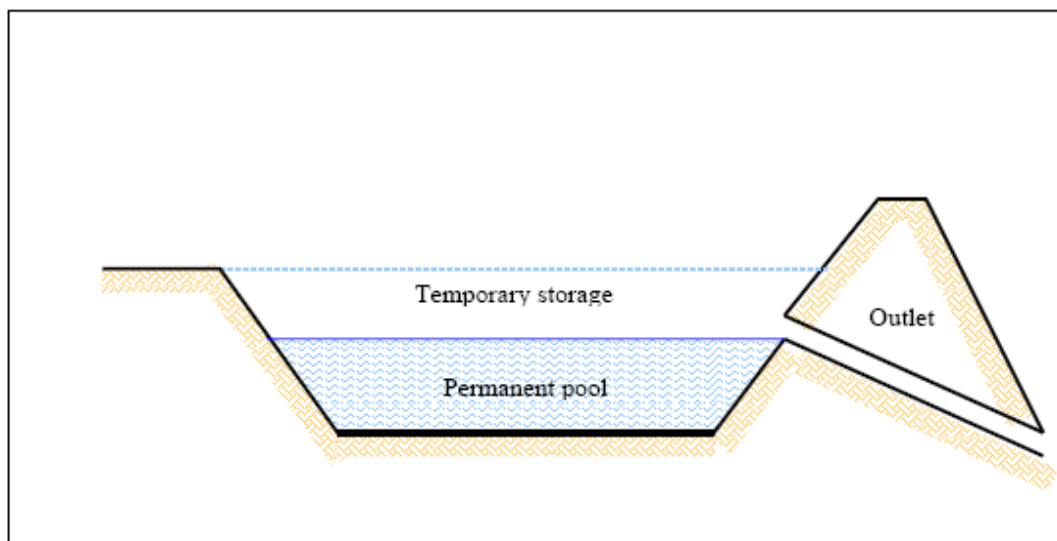


**Livro: Remoção de sedimentos em BMPs**  
**28 de maio de 2011**  
**Engenheiro Plínio Tomaz**



## Introdução

Os assuntos que iremos tratar se referem a poluição difusa, que é aquela gerada pelo escoamento superficial da água em zonas urbanas e provém de atividades que depositam poluentes, de forma esparsa, sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica.

Os primeiros 10 minutos de chuva lavam a rua e carregam poluentes, que é o denominado *first flush*. O dr. Robert Pitt em 2004 em pesquisas de 21 parâmetros demonstrou que este escoamento inicial carrega poluentes conforme Tomaz, 2006. A solução para a melhoria da qualidade das águas pluviais é fazer o tratamento é através das BMPs para áreas de bacias até 2km<sup>2</sup> (200ha). Assim devem ser tratadas as águas pluviais proveniente do *first flush* e o restante ser lançado diretamente ao curso de água ou lago próximo.

“BMP (*Best Management Practices*): traduz-se por *melhor técnica de gerenciamento ou medidas ótimas para gerenciamento de cargas difusas*”. As BMPs são medidas e práticas destinadas a melhorar a qualidade das águas pluviais.

Apesar de inúmeros fenômenos que ocorrem nas BMPs, a **sedimentação** é o mais importante, pois está provado que quando se depositam sedimentos menores que 100µm que são o TSS (sólidos totais em suspensão), os mesmos arrastam consigo uma grande parte dos metais pesados, nitrogênio, fósforo e outros poluentes.

É importante em determinadas BMPs, prever a porcentagem de sedimentos removidos e retidos.

- **Bacia de detenção seca**, que é aquela que detém as águas pluviais e só deixa passar a vazão de pico do pré-desenvolvimento.
- **Bacia de detenção estendida** que detém por um período de 24h o volume denominado WQv para melhoria da qualidade das águas pluviais.
- **Bacia de retenção** que pode ser uma *wetland* ou uma **bacia de retenção molhada** que não tem vegetação e ambas possuem um volume permanente denominado WQv e um volume temporário também WQv.

Incluimos também a caixa de retenção de óleos e sedimentos, a teoria de Stokes, os princípios de Allen Hazen sobre sedimentação e o Método Simples de Schueler.

A teoria de Schueler feita em 1987 é usada para a determinação do *first flush*, isto é, a altura da lâmina de água em milímetros que é responsável por 90% das precipitações e que irá deter 80% do TSS (sólido total em suspensão).

O depósito de sedimentos pode ser feito durante as precipitações ou no intervalo das mesmas, chamando a primeira de condições dinâmicas e a segunda de condições quiescentes.

Outra importância da remoção dos sedimentos é que nas BMPs citadas devem possuir a montante o pré-tratamento, que é a remoção de sedimentos grosseiros, ou sejam, aqueles maiores que 125µm.

Neste trabalho temos como objetivo mostrar a facilidade dos cálculos de estimativa de remoção de sedimentos nas BMPs.

Dentre os vários métodos existentes bem como softwares americanos todos possuem falhas devido a dificuldade do conhecimento científico sobre o problema. A influência da forma do reservatório, da área da superfície, do tempo de detenção, do tamanho das partículas existentes no local, o problema da ressuspensão de sedimentos tudo isto causam inúmeras dificuldades para se ter como exatidão a eficiência da sedimentação.

Uma maneira prática e também sujeita a erros é o método de Akan que está no Capítulo 3 deste livro, pois é fácil de ser aplicado e o método do Capítulo 19 devido a Chen.

As bacias de detenção estendida conforme Stahre e Urbonas, 1990 in Haan et al, 1994 remove 50% a 70% de sólidos totais em suspensão (TSS), 10% a 20% de fósforo total, 10% a 20% de nitrogênio, 20% a 40% de matéria orgânica, 75% a 90% de chumbo, 30% a 60% de zinco, 50% a 70% de hidrocarbonetos e 50% a 90% de bactérias.

Os capítulos foram feitos de maneira que possam ser lidos separadamente.

O autor se desculpa pelos gráficos em inglês.

Agradeço a Deus, o Grande Arquiteto do Universo, a oportunidade de poder contribuir na procura do conhecimento com a publicação deste livro.

**Guarulhos, 10 de outubro de 2008**

Engenheiro civil Plínio Tomaz



## PLÍNIO TOMAZ

COMUNICAÇÃO COM O AUTOR  
Engenheiro civil Plínio Tomaz  
e-mail: [pliniotomaz@uol.com.br](mailto:pliniotomaz@uol.com.br)

**I Dream of Tahoe ®**  
**By: Charles R. Goldman**

I dream of Tahoe wherever I may go  
I dream this dream of Tahoe in sunshine or in snow  
I see the cobalt waters in the alpine afterglow  
Where pine and aspen forests take many years to grow  
And I'll return to Tahoe from wherever I may go  
Yes I'll return to Tahoe despite where winds may blow  
And although my travels wander across the land and sea  
My memories of Tahoe will always stay with me  
The air is clear and brilliant where Sierra meets the sky  
It fills me with a sadness when I must say goodbye  
But if we keep its blueness this lake will never die  
And the children of our children will never have to cry

Nota: este poema foi escrito pelo dr. Charles R. Goldman que conheci num seminário internacional de recursos hídricos. O dr. Charles é o responsável pela recuperação do Lago Tahoe nos Estados Unidos e um dia recebeu o presidente Bill Clinton e o vice Al Gore em seu barco de pesquisa.

### Prefácio

Os aspectos espetaculares das sucessivas crises do petróleo, com a escassez imediata e o aumento dos preços, fizeram com que grande parte da população mundial acreditasse que o esgotamento das reservas naturais do planeta era parte de uma questão energética, que poderia ser resolvida através do aporte tecnológico. De forma silenciosa, contudo, uma outra escassez avançava, sem ser vislumbrada em toda sua ameaça: a falta de água potável.

Pela própria natureza da Terra, a água doce, potável e de qualidade encontra-se distribuída de forma bastante desigual. As regiões setentrionais do planeta, embora com grandes rios – Tamisa, Danúbio, Reno, Volga, – ou na América – o São Lourenço, Mississipi, Missouri – concentram grandes aglomerações demográficas, que consomem volumes crescentes de água potável. Além disso, a generalização da agricultura moderna – subsidiada com milhares e milhares de dólares, tanto na União Européia, quanto nos EUA – ampliou tremendamente o consumo de água. Muitas vezes, a riqueza produzida por tal agricultura subsidiada não paga os imensos gastos de armazenamento, dutos e limpeza investidos no processo de sua própria disponibilização.

O consumo de água dobra a cada 20 anos; 50% da água que vai para os grandes centros urbanos são desperdiçadas. Mais de 25% da população da Terra não tem acesso à água potável. Em 70 regiões do planeta existem conflitos pelo controle da água potável.

No Brasil, cerca de 70% da água está localizada na região Norte, onde vivem aproximadamente 75% da população.

Os 30% restantes dos recursos hídricos estão nas demais regiões, onde vivem 93% da população brasileira.

Conseqüentemente, cada vez mais importante se torna promover o seu uso eficiente. Isto significa que não se pode desperdiçar o precioso líquido e que a sua qualidade deve ser adequada ao tipo de utilização. Mesmo ao nível doméstico há utilizações, como a limpeza, por exemplo, onde não é exigível uma qualidade aos níveis de portabilidade da água. Neste contexto, começam a ganhar mais popularidade soluções alternativas, como o aproveitamento de águas das chuvas e de águas cinzentas.

No entanto, convém notar que após um período significativo sem chover é natural que as superfícies de captação apresentem alguma sujidade, podendo a mesma ser arrastada pela água. Em princípio, para aplicações domésticas convirá rejeitar essas primeiras águas de lavagem (“first-flush”) para o que existem diversas soluções.

O presente trabalho - *Remoção de sedimentos em BMPs* - de autoria do insigne Engenheiro Plínio Tomaz, seu décimo *e-book*, trata dos vários métodos existentes com a finalidade de quantificar esses sedimentos depositados pelas chuvas nas bacias hidrográficas, melhorando a qualidade das águas para captação e consumo.

Honrou-nos o professor, com a solicitação de que prefaciássemos o presente trabalho.

Quando, no início de 2008 assumimos a Comissão de Meio Ambiente do CREA SP, firmamos o compromisso de sociabilizar o máximo possível informações de boas práticas ambientais. Lembramos logo de Mestre Plínio, sempre nos brindando com seus trabalhos quando das reuniões de Câmara e Plenária.

Solicitado a colaborar com a Comissão, prontamente nos atendeu e hoje todos podem contar com seus livros digitais publicados no site da Comissão, no Portal do CREA SP.

Certamente esta será apenas mais uma das publicações com que poderemos contar. Outras estão a caminho.

Assim, desejo que todos - profissionais alunos e militantes ambientais aproveitem ao máximo os ensinamentos de nosso caro professor.

Santos, outubro de 2008

*Zildéte Teixeira F. Prado*  
Eng<sup>a</sup> Civ e Meio Ambiente  
Coordenadora CMA  
CREA-SP

**Capítulos**

<b>Ordem</b>	<b>Assunto</b>
0	Preliminares
1	Remoção de sedimentos em bacias de detenção estendida conforme Papa, 1999
2	Remoção de sedimentos em bacias de retenção conforme EPA, 1986
3	Remoção de sedimentos em bacias de detenção estendida conforme Akan
4	Remoção de sedimentos em bacias de detenção seca conforme EPA, 2004
5	Método RUSLE (equação revisada universal de perda de solo)
6	Estimativa da carga do poluente pelo Método Simples de Schueler
7	Carga de sólidos devido ao runoff
8	Lei de Stokes
9	Princípio de Allen Hazen sobre sedimentação
10	Remoção de sedimentos em bacias de retenção conforme EPA, 2004
11	Remoção de sedimentos em pré-tratamento
12	Pré-tratamento
13	Cerca de sedimentos
14	Caixa de retenção de óleo e sedimentos
15	Pesquisas efetuadas sobre TSS (sólidos totais em suspensão)
16	Método de Brune
17	Método de Churchill
19	Remoção de sedimentos em bacias de detenção conforme Chen, 1975
20	Remoção de sedimento em faixa de filtro gramada
21	Canal gramado



### **CURRICULUM VITAE**

O engenheiro civil Plínio Tomaz nasceu em Guarulhos e estudou na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Fez cursos de pós-graduação na Politécnica e na Faculdade de Saúde Pública.

Foi superintendente e diretor de obras do SAAE onde se aposentou e depois trabalhou no Ministério de Minas e Energia.

- Fundador da Associação de Engenheiros e Arquitetos e Agrônomos de Guarulhos em 1967.
- Foi professor de Hidráulica Aplicada na FATEC e na CETESB.
- Atualmente é:
- Diretor de Recursos Hídricos Saneamento e Energia da FAEASP (Federação das Associações de Engenharia e Arquitetura do Estado de São Paulo)
- Diretor de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da ACE-Associação Comercial e Empresarial
- Membro da Academia Guarulhense de Letras
- Assessor especial de meio ambiente da OAB (Ordem dos Advogados do Brasil) de Guarulhos
- Conselheiro do CADES- Conselho Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da PMSP representado o CREASP
- Coordenador do Grupo de Trabalho do CREASP sobre Fiscalização em Bacias Hidrográficas
- Membro do Sub-comitê de Bacia Alto Tietê-Cabeceiras
- Presidente do Conselho Deliberativo do Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Guarulhos
- Ex-professor da FIG, UNG, FATEC e CETESB

Escreveu 6 livros de engenharia civil

- “*Conservação da Água*”
- “*Previsão de consumo de água*”
- “*Economia de água*”
- “*Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais*”
- “*Aproveitamento de água de chuva*”
- “*Poluição difusa*”

**Onze livros eletrônicos em acrobat reader disponível gratuitamente na Internet**

- *Balanço Hídrico 237 páginas A4*
- *BMPs-Best Management Practices 176 páginas A4*
- *Critério Unificado 327 páginas A4*
- *Golpes de aríete em casas de bombas 105 páginas A4*
- *Análise da qualidade da água de rios e impactos de nitrogênio e fósforo rios e córregos 109 páginas A4*
- *Curso de Manejo de águas pluviais 1019 páginas A4*
- *Água-pague menos: tratamento de esgotos e reúso 133 páginas A4*
- *Aproveitamento de água de chuva 250 páginas A4*
- *Previsão de consumo de água em gramados 168 páginas A4*
- *Curso de Redes de esgotos 591 páginas A4*
- *Curso de Redes de água 829 páginas A4*
- *Evapotranspiração*
- *Remoção de sedimentos em BMPs*

**Guarulhos, 11 outubro de 2008**  
**Plínio Tomaz**  
**Consultor Senior**  
**Engenheiro Civil**  
**CREA-SP 0600195922**

## Capítulo 0-Preliminares

### 0.1 Introdução

Há uma grande dificuldade de se calcular com precisão a remoção de sedimentos em uma bacia de detenção estendida.

A bacia de detenção estendida é aquela projetada para deter vazões de pico de enchentes e só deixar passar a vazão de pré-desenvolvimento para melhorar a qualidade das águas pluviais. O reservatório se enche e depois esvazia num tempo determinado pelo projetista, ficando depois vazio. O tempo de detenção de modo geral está entre 24h a 48h. e o período de retorno usado varia de 10 a 25anos.

O reservatório de detenção estendido é uma das BMPs mais usadas nos Estados Unidos e Europa, motivo pelo qual se faz necessário estimar da melhor maneira possível a porcentagem de remoção de sólidos totais em suspensão, que é o chamado TSS.

Salientamos que é reconhecido por todos os especialistas no assunto, que a remoção dos poluentes é proporcional a remoção dos sólidos totais em suspensão (TSS) nas águas pluviais, pois os poluentes aderem as partículas sólidas e se depositam no fundo do reservatório. Desta maneira é importante que quanto maior for a remoção de TSS maior será a remoção de fósforo, nitrogênio e outros poluentes.

Os reservatórios de detenção estendido tem a função de mitigar os impactos do *runoff* urbano nos corpos receptores de água que são os rios, córregos e lagos.

### 0.2 Critérios de dimensionamento adotado para reservatório de detenção estendido

O cálculo detalhado de reservatório de detenção estendido poderá ser visto no livro Poluição Difusa de Tomaz, 2006.

No cálculo é aplicado o conceito de pré e pós desenvolvimento de maneira a se ter *impacto zero*.

#### Volume para melhoria da qualidade das águas pluviais

Os critérios estão baseados em Schueler, 1987 com os seguintes parâmetros:

Rv= coeficiente volumétrico

$$Rv = 0,05 + 0,009 \times AI$$

AI= área impermeável em porcentagem

O volume para melhoria da qualidade das águas pluviais é dado por:

$$WQv = (P/1000) \times Rv \times A \text{ (m}^3\text{)}$$

Sendo:

WQv= volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m<sup>3</sup>)

P= 25mm= *first flush* para a Região Metropolitana de São Paulo- RMSP

A= área da bacia (m<sup>2</sup>)

A profundidade do reservatório varia de 1,00m a 1,50m e o tempo de esvaziamento geralmente adotado é de 24h.

A vazão média Qm é o volume WQv dividido pelo número de segundos em 24h

$$Qm = WQv / 86400s$$

Sendo a altura do reservatório h, o cálculo é feito com orifício:

$$Q = Cd \times Ao \times (2gh)^{0,5}$$

Cd=0,62

$A_o =$  área da seção transversal =  $D^2/4$

Na prática costuma-se calcular de duas maneiras o valor de d.

a)  $d =$  profundidade do reservatório  $h =$  altura na equação do orifício

$h = d/2$  (usa-se como altura a metade)

$Q = Q_m$

b)  $Q = 2 \times Q_m$  (usa-se como vazão o dobro da vazão média, mas usa-se a altura máxima d)

$h = d$

### Tempo de esvaziamento

Genericamente para qualquer seção transversal  $A_s$ , o tempo de esvaziamento em segundos de qualquer reservatório pode ser calculado pela Equação (0.1), conforme Malásia, 2000.

$$t = [1 / C_d \cdot A_o \cdot (2 \cdot g)^{0,5}] \cdot \int_{y_1}^{y_2} A_s dy / y^{0,5} \quad \text{Equação (0.1)}$$

Quando a superfície da água é constante, isto é, as paredes são verticais, então a equação acima fica:

$$t = [2 \cdot A_s \cdot (y_1^{0,5} - y_2^{0,5})] / [C_d \cdot A_o \cdot (2 \cdot g)^{0,5}]$$

Sendo:

$A_o =$  área da seção transversal do orifício ( $m^2$ );

$C_d = 0,62$  coeficiente de descarga;

$A_s =$  área transversal do reservatório na profundidade  $y$  ( $m^2$ );

$t =$  tempo de esvaziamento (segundos);

$y_1 =$  altura da água no início (m);

$y_2 =$  altura do nível de água no fim (m) e

$g =$  aceleração da gravidade ( $g = 9,81 m/s^2$ )

O orifício mínimo deve ter diâmetro  $\geq 50mm$ .

### 0.3 Distribuição das partículas e velocidade de sedimentação

Tenho conhecimento de pesquisas nos Estados Unidos publicado pela EPA, 1986 e no Canadá publicada em 1994 pelo Ministério do Meio Ambiente e Energia de Ontário (MOEE).

Estas pesquisas mostram o comportamento da velocidade de sedimentação das águas pluviais dependendo do tamanho das partículas. Com a falta de pesquisas existentes em todo o Brasil, admitiremos como base as últimas pesquisas, isto é, aquelas feitas no Canadá em 1994, portanto, mais recente.

**Tabela 0.1- Partículas, porcentagens de massas e velocidade de sedimentação no Canadá em 1999**

Fração	(%) de massa de partículas	Vs velocidade de sedimentação
(mm)		(m/h)
20mm	20	0,000914
20<x 40	10	0,0468
40<x 60	10	0,0914
60<x 0,13	20	0,457
0,13<x 0,40	20	2,13
0,40<x 4,0	20	19,8
Total=	100	

Fonte: Papa, et al, 1999

Aproveitamos a oportunidade para informar sobre os dados de partículas, porcentagens e velocidade de sedimentação conforme EPA, 1986 que usa cinco frações de 20% de massa cada conforme Tabela (0.2).

**Tabela 0.2- Partículas, porcentagens de massas e velocidade de sedimentação nos Estados Unidos.**

Fração	(%) de massa de partículas		Vs velocidade de sedimentação
	(%)	(%)	(m/h)
1	0 a 20%	20	0,0009
2	20% a 40%	20	0,09
3	40% a 60%	20	0,45
4	60% a 80%	20	2,1
5	80% a 100%	20	19,5
Total=		100	

Fonte: EPA, 1986

### Remoção de partículas das águas pluviais

Considerando uma área urbana as precipitações que caem nas casas, ruas, avenidas e estradas, parques, etc transportam sólidos, variando desde argila até agregados maiores. As variações do diâmetro das partículas dependem do local, do vento, das precipitações e de outras variáveis.

Infelizmente não temos pesquisas em todo o Brasil e mostraremos somente as pesquisas americanas que são as seis curvas mostradas na Figura (0.1).

Conforme Rinker, 2004 a primeira curva da distribuição das partículas de monitoramento do *Stormceptor* refere-se a uma firma americana que faz produtos para a decantação de sólidos usadas muito em estradas de rodagens.

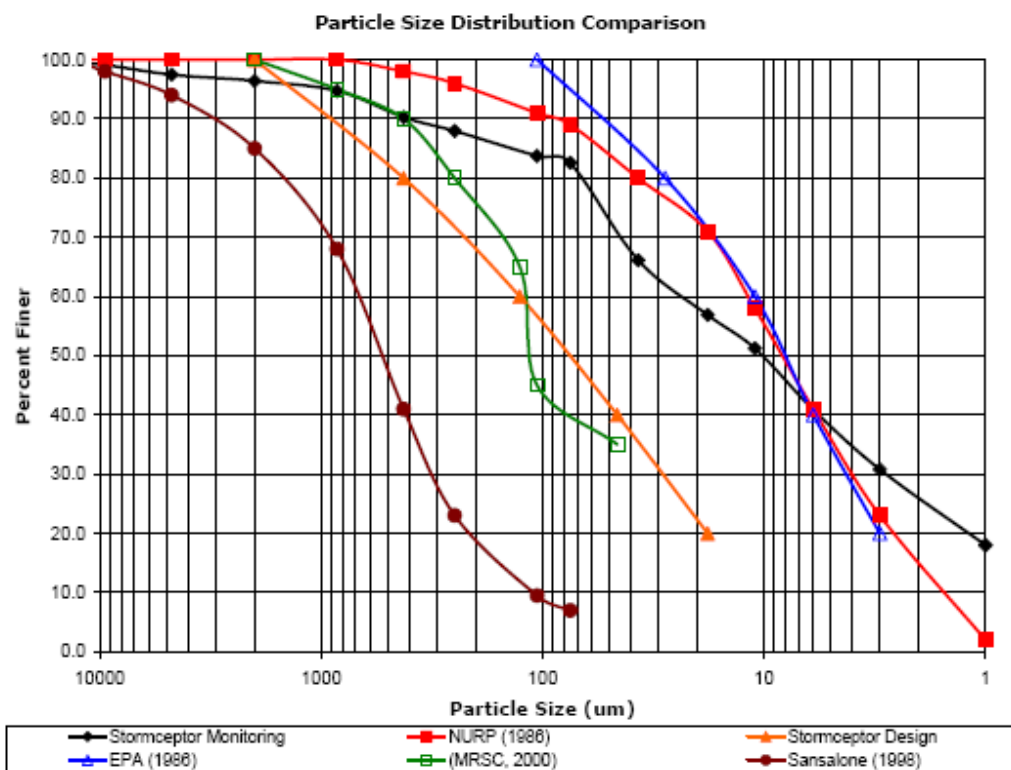
A segunda é da EPA, 1986 devido ao trabalho coordenado por E. Driscoll.

A terceira curva de partículas é a do NURP, 1986 que fez inúmeras pesquisas.

A quarta curva de partículas é do MRSC, 2000- *Municipal Research & Services de Washington* que fez pesquisa somente em um local.

A quinta curva é a do projeto *Stormceptor* que é uma firma americana de equipamentos, baseada no MOE (*Ministry of Environment Stormwater Practices Manual* de 1994) de Ontário, e que por sua vez é baseada na Usepa, 1983.

A sexta curva é J. Sansolone e foi feita uma pesquisa somente em determinado local, não tendo portanto, muita importância.



NURP - National Urban Runoff Program (EPA, 1983)  
EPA - Detention Basin Analysis (EPA, 1986)  
MRSC - Municipal Research & Services Center (of Washington)

**Figura 0.1- Comparação da distribuição do tamanho de partículas de águas pluviais nos Estados Unidos conforme Rinker, 2004.**

Rinker, 2004 em suas pesquisas concluiu que para a melhoria da qualidade das águas pluviais, capturando partículas <100µm, se depositarão de 50% a 100% das partículas. Rinker, 2004 salienta ainda que Walker, 1997 associou a deposição de metais e outros poluentes em águas pluviais quando houver deposição de partículas menores que 100µm.

Salientamos que adotamos para pré-tratamento a deposição de partículas maiores que 125µm.

#### **0.4 Bibliografia e livros consultados**

- HAAN, C.T. et al. *Design Hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press, 1994, 588páginas, ISBN 13:978-0-12-312340-4
- PAPA, FABIAN et al. *Detention time selection for stormwater quality control ponds*. 31/july/1999. *Can. J. Civ. Eng.* 26:72-82 (1999).
- RINKER, 2004. *Particle size distribution (PSD) in stormwater runoff*.  
[http://www.rinkermaterials.com/ProdsServices/downloads/InfoBriefs\\_Series/IS%20601%20Particle%20Size%20Distribution%20\\_PSD\\_%20in%20Stormwater%20Run.pdf](http://www.rinkermaterials.com/ProdsServices/downloads/InfoBriefs_Series/IS%20601%20Particle%20Size%20Distribution%20_PSD_%20in%20Stormwater%20Run.pdf)
- TOMAZ, PLINIO. *Poluição Difusa*. Navegar Editora, 2006.
- USEPA. *Methodology for analysis of detention basins for control for urban runoff quality*. EPA 440/5-87-001 setembro 1986. Coordenado por Eugene D. Driscoll baseado n as pesquisas de Dominic M. DeToro e Mitchell Small.
- USEPA. *Stormwater Best management practice design guide*. Volume 2- Vegetative biofilters. EPA/600/R-04/121A setembro 2004.
- USEPA. *Stormwater Best management practice design guide*. Volume 3- Basin Best management practices. EPA/600/R-04/121B setembro 2004.
- USEPA. *Stormwater Best management practice design guide*. Volume 1- General Considerations EPA/600/R-04/121 setembro 2004.