

## Capítulo 10-Remoção de sedimentos em bacias de retenção conforme EPA, 2004

### 10.1 Introdução

A bacia de retenção é aquela projetada para deter vazões de pico de enchentes e que tem um volume permanente denominado volume WQv para melhoria da qualidade das águas pluviais. Aplica-se também a casos semelhantes como as *wetlands*.

Teremos constante o volume permanente WQv e um volume temporário WQv que se esvazia em 24 horas. As vezes se faz o volume permanente WQv/2 e volume temporário WQv/2.

### 10.2 Coeficiente de variação e valores estatísticos

O coeficiente de variação é um adimensional definido assim:

**Coeficiente de variação= desvio padrão/ média**

**Nota: uma das grandes dificuldades deste método é obter os valores e coeficientes de variação que estão na Tabela (10.4)**

Estimamos para a Região Metropolitana de São Paulo- RMSP Tabela (10.4).

**Tabela 10.4- Dados estatísticos estimativos para a RMSP**

Parâmetros	Valores	Coeficiente de variação
Precipitação média Volume V (mm)	6,99	1,31
Intensidade de chuva I (mm/h)*	1,75	1,14
Duração da chuva D (h) *	4h	1,14
Intervalo Δ (h)	65h (2,72dias)	1,23

(\*): estimativa

### 10.3 Eficiência da remoção

A remoção de bacias de retenção são feitas em duas condições básicas. A primeira é a condição **dinâmica**, isto é, quando está chovendo e a segunda é quando não há chuvas e temos o intervalo entre as chuvas, sendo esta situação chamada de **quiescente**.

### 10.4 Eficiência da remoção na condição dinâmica

A condição dinâmica de sedimentação ocorre quando está chovendo na bacia.

Para a eficiência vamos mostrar a conhecida equação de Fair e Geyer, 1954:

$$TE_i = 1 - \left[ \left( 1 + \frac{V_{si}}{n \times V_c} \right)^{-n} \right]$$

Sendo:

TE<sub>i</sub>= eficiência dinâmica da deposição para remoção de sólidos em suspensão da partícula “i”.

V<sub>si</sub>=velocidade de sedimentação da partícula “i” (m/h)

n= fator de turbulência de Fair e Geyer, 1954 que mede o grau de turbulência ou curto circuito que tende a reduzir a eficiência da remoção de sólidos. Usualmente admitido n=3

n=1 (condições pobres)

n=3 (condições boas)

n>5 (condições muito boa)

Q=vazão no reservatório (m<sup>3</sup>/h)

A= área da superfície do reservatório (m<sup>2</sup>)

V<sub>c</sub>= velocidade através da bacia (m/s)

$$V_c = D / T_d$$
$$V_c = Q_{out} / A_s$$

Sendo:

$V_c$ = velocidade através da bacia (m/s)

$D$ = profundidade (m)

$T_d$ = tempo de esvaziamento (s)

$A_s$ = área da superfície do reservatório ( $m^2$ )

$Q_{out}$ = vazão média de saída ( $m^3/s$ )

### 10.5 Eficiência devido as condições quiescentes

O intervalo entre as chuvas que geralmente é de 3 a 4 dias estamos na condição quiescentes e a deposição de sólidos se processa de maneira diferente da condição turbulenta quando há chuvas. As chuvas possuem duração de 4h a 6h em média.

A equação fundamental para as condições quiescentes è:

$$RQ_i = 86400 \times V_{si} \times A_s$$

Sendo:

$RQ_i$ = taxa de remoção quiescente de sólidos ( $m^3/dia$ ) da partícula “i”

$V_{si}$ = velocidade de sedimentação de determinada partícula “i” (m/h)

$A_s$ = área da superfície do reservatório permanente ( $m^2$ )

A taxa de remoção  $RR_i$  é dada pela equação:

$$RR_i = TIA \times RQ_i / VR$$

Sendo:

$RR_i$ = taxa de remoção entre as chuvas

$TIA$ = tempo entre as chuvas (dias). Geralmente entre 3 a 4 dias com chuvas de duração de 4h a 6h.

$VR$ = média do *runoff* ( $m^3$ )

$$VR = V \times R_v \times A$$

Sendo:

$VR$ = volume produzido de runoff produzido pela precipitação média ( $m^3$ )

$A$ = área da bacia ( $m^2$ )

$V$ = precipitação média na bacia (mm). Varia de 7mm a 9mm aproximadamente.

$R_v$ = coeficiente volumétrico (adimensional)

### 10.6 Eficiência devido as condições dinâmicas

Quando está chovendo temos as condições de sedimentação dinâmicas sendo usada a equação:

$$DR_i = \{ (1/CVq^2) / [ 1/CVq^2 - LN (TE_i) ] \}^{(1/CVq + 1)}$$

Sendo:

$DR_i$ = eficiência dinâmica de sedimentação para a partícula “i”

$CVq$ = coeficiente de variação da intensidade de chuva (adimensional)

$TE_i$ = eficiência de deposição da partícula “i”

$LN$ = logaritmo neperiano

**10.7 Eficiência total: condições quiescentes+condições dinâmicas**

A condição final de uma bacia de retenção é a soma das condições quiescentes entre as chuvas e quando chove que são as condições dinâmicas.

$$TECi = 1 - (1-DRi)(1-EQi)$$

Sendo:

TECi= eficiência total da partícula “i”

DRi= eficiência dinâmica (calculado)

EQi= tirado da Figura (3-2)

**10.8 Figuras**

Vamos colocar as duas figuras básicas da EPA, 2004 que são: Figura 3-1 e Figura 3-2.

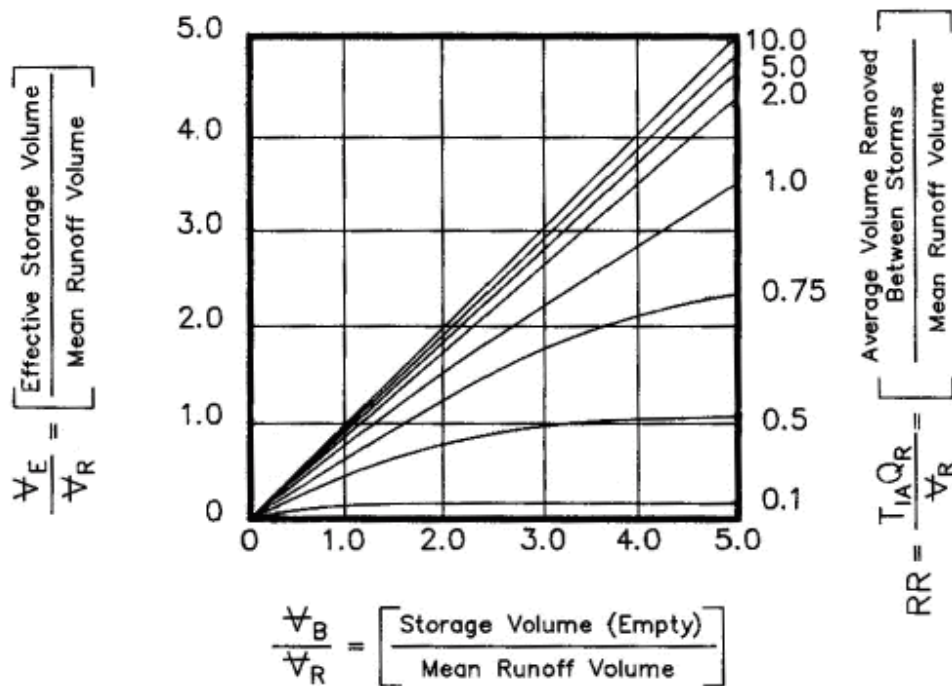


Figure 3-1 Ratio of Effective Storage Volume to Mean Runoff Volume (modified after Driscoll et al., 1986)

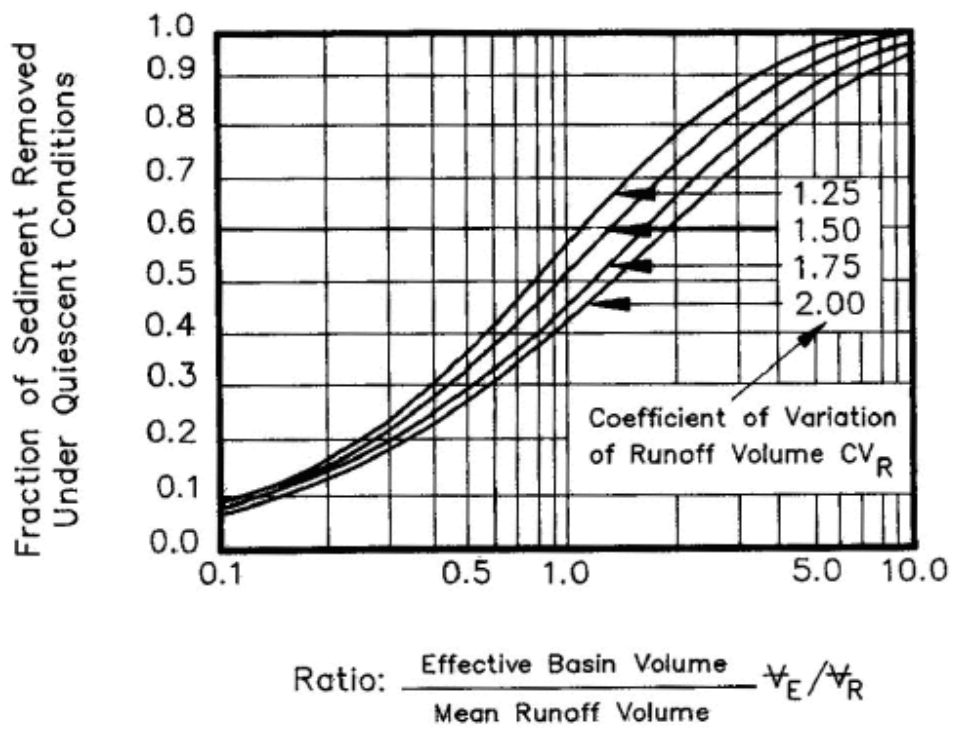


Figure 3-2 Fraction of Sediment Removed in Quiescent Conditions Between Storms (Driscoll et al., 1986)

### 10.9 Exemplo

Determinar a eficiência de sedimentação de um reservatório de retenção (*wet pond*) com volume de 3000m<sup>3</sup>, área de superfície do reservatório de 2000m<sup>2</sup> com área da bacia com 20ha e área impermeável de 61%.

**Tabela 10.5- Valores para o problema**

Precipitação média = V(mm)	9,9mm
Intervalo entre chuvas	100h (4,167 dias)
CVr	1,64
CVq	1,40

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

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times 61 = 0,60$$

$$WQ_v = (P/1000) \times R_v \times A \text{ (m}^2\text{)}$$

P= 25mm first flush para a RMSF

$$A = 20\text{ha} \times 10000\text{m}^2$$

R<sub>v</sub>= coeficiente volumétrico

AI= área impermeável (%)

$$WQ_v = (P/1000) \times R_v \times A \text{ (m}^2\text{)}$$

$$WQ_v = (25/1000) \times 0,60 \times 20 \times 10000\text{m}^2 = 2995\text{m}^3 \text{ Adoto } WQ_v = 3000\text{m}^3$$

Nas Tabelas (10.6) a (10.9) estão os cálculos da eficiência sendo que o resultado foi de 90,19%, incluso a deposição dinâmica e quiescente.

Vamos explicar cada Tabela, coluna por coluna

#### Tabela (10.6)

Coluna 1-Tipo de solos que são argila, silte, areia, pequenos agregados e grandes agregados.

Coluna 2-Velocidade de sedimentação em ft/s conforme EPA, 2004 volume 3.

Coluna 3- Velocidade de sedimentação em m/s conforme EPA, 2004 volume 3

Coluna 4- Valor de n=3 normalmente adotado

Coluna 5- Área da bacia em hectares

Coluna 6- Área impermeável em porcentagem

Coluna 7- Coeficiente volumétrico R<sub>v</sub> que é constante.

**Tabela 10.6- Cálculo da eficiência de sedimentação em reservatório de retenção**

1	2	3	4	5	6	7
	Velocidade de sedimentação				(%)	
Tipo de solo	V <sub>s</sub> (ft/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	n	Área (ha)	AI	R <sub>v</sub>
Argila	0,0000112	0,00000336	3	20	61	0,599
Silte	0,000281	0,0000843	3	20	61	0,599
Areia	0,0636	0,01908	3	20	61	0,599
Pequeno agregado	0,00156	0,000468	3	20	61	0,599
Grande agregado	0,0678	0,02034	3	20	61	0,599

**Tabela 10.7**

Coluna 8- Volume para melhoria da qualidade das águas pluviais WQv calculado

Coluna 9- Volume WQv adotado

Coluna 10- Área da superfície do reservatório As

Coluna 11- O valor Rqi é taxa de remoção para as condições quiescentes, isto é, entre as chuvas.

Coluna 12-Intervalo entre chuvas em dias

Coluna 13- Média do runoff anual em milímetros. Nos Estados Unidos temos o valor por região, mas no Brasil não temos estes dados e deve ser estimado. Este é um dos grandes problemas. Para a RMSP achamos o valor de 7mm conforme Tabela (10.4).

Coluna 14- É o valor do runoff VR calculado usando a área da bacia de 20ha multiplicando pela média do runoff de V=9,9mm da coluna 13, multiplicado pelo coeficiente volumétrico Rv.

**Tabela 10.7- Cálculo da eficiência de sedimentação em reservatório de retenção**

8	9	10	11	12	13	14
	Adotado		Quiescente			VR=VxRvxA
WQv (m <sup>3</sup> )	Volume VB (m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Rqi (m <sup>3</sup> /dia)	Intervalos entre chuvas (dias)	Média runoff anual (mm)	Runoff=VR
2995	3000	2000	580,61	4,167	9,9	1186
2995	3000	2000	14567,04	4,167	9,9	1186
2995	3000	2000	3297024,00	4,167	9,9	1186
2995	3000	2000	80870,40	4,167	9,9	1186
2995	3000	2000	3514752,00	4,167	9,9	1186

**Tabela 10.8**

Coluna 15- É o valor RRI que é a média da eficiência da remoção nas condições quiescentes. Depende do runoff VR e do intervalo entre chuvas e da taxa de remoção Rqi

Coluna 16- É a relação VB/VR sendo VB o volume do reservatório de 3000m<sup>3</sup>.

Coluna 17- É o valor do coeficiente de variação CVR adotado ou calculado.

Coluna 18- Com os valores CVR, VB/VR e RRI acha-se VE/VR na Figura 3.1.

Coluna 19- Com os valores CVR, VE/VR acha-se na Figura 3.2 o valor Eqi que é a eficiência no intervalo entre chuvas (situação quiescente).

Coluna 20- Tempo de esvaziamento Td que normalmente é 24h (86400s)

Coluna 21- Profundidade do reservatório obtido dividindo o volume WQv/área da bacia

**Tabela 10.8- Cálculo da eficiência de sedimentação em reservatório de retenção**

15	16	17	18	19	20	21
Quiescente		Adotado	Figura 3.1	Quiescente Figura 3.2	Tempo de esvaziamento	Profun.
RRI	VB/VR	CVR	VE/VR	Eqi	Td (s)	Prof. D (m)
2,04	2,529	1,64	2,1	<b>0,65</b>	86400	1,5
51,18	2,529	1,64	5	<b>0,85</b>	86400	1,5
11583,87	2,529	1,64	5	<b>0,85</b>	86400	1,5
284,13	2,529	1,64	5	<b>0,85</b>	86400	1,5
12348,84	2,529	1,64	5	<b>0,85</b>	86400	1,5

**Tabela 10.9**

Coluna 22- Cálculo de  $V_c$  que é a velocidade da água que sai em m/s.

Coluna 23- É a eficiência na condição turbulenta  $TE_i$  para cada partícula

Coluna 24- Coeficiente de variação da vazão

Coluna 25- É o cálculo da eficiência dinâmica

Coluna 26- Temos o valor final para cada partícula, combinado as condições dinâmicas e condições quiescentes. A média ponderada final de remoção é de 81%.

**Tabela 10.9- Cálculo da eficiência de sedimentação em reservatório de retenção**

22	23	24	25	26
$V_c=D/T_d$ (m/s)	$TE_i$	CVQ	$D_{ri}$ (dinâmica)	Combinado
0,91	1,686	1,64	2,1	<b>0,65</b>
2,83	1,686	1,64	5	<b>0,85</b>
2,83	1,686	1,64	5	<b>0,85</b>
2,83	1,686	1,64	5	<b>0,85</b>
2,83	1,686	1,64	5	<b>0,85</b>
			<b>Remoção=</b>	<b>0,8100</b>
				<b>81,00</b>

### **10.10 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
- AKAN A. OSMAN. *Urban stormwater hydrology*. 1993, 268páginas
- PAPA, FABIAN et al. *Detention time selection for stormwater quality control ponds*. 31/july/1999. Can. J. Civ. Eng. 26:72-82 (1999).
- TOMAZ, PLINIO. *Poluição Difusa*. Navegar Editora, 2006.
- USEPA. *Methodology for analysis of detention basins for control of urban runoff quality*. EPA 440/5-87-001 setembro 1986. Coordenado por Eugene D. Driscoll baseado nas 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.