

Capítulo 04-Remoção de sedimentos em bacias de detenção seca conforme EPA, 2004

4.1 Introdução

A bacia de detenção seca é aquela projetada para deter vazões de pico de enchentes. Embora o tempo de detenção seja de algumas horas, sempre irá ser detido sedimentos como acontece com o piscinão do Pacaembu em São Paulo.

4.2- Baseado na EPA, 2004

Calcular a eficiência de uma bacia de detenção seca de uma área residencial com 8ha e área permeável de 7,2ha e área impermeável de 0,8ha. A superfície do lago $A_s=0,48ha$ e a vazão de pico na saída é $0,75m^3/s$. Área impermeável =0,10 (10%). Tempo de residência igual a 1,69h. $T_r=10anos$. Volume $S_{max}= 4562m^3$.

$$T_d = S_{max} / q_{out}$$

Sendo:

T_d = tempo de residência (h)

S_{max} = volume do reservatório de detenção seca (m^3)

Q_{out} = vazão de saída (m^3/s) para situação do pré-desenvolvimento

Ou também podemos fazer.

$$T_d = D / V_c = 0,95m / 0,0001563 = 6078s = 1,69h$$

Sendo:

T_d = tempo de residência (h)

D = profundidade (m)

V_c = velocidade de overflow (m/s)

$$D = S_{max} / A_s = 4562m^3 / (0,48 \times 10000) = 0,95m$$

$$V_c = Q_{out} / A_s = 0,75m^3/s / (0,48 \times 10000) = 0,0001563m/s$$

Sendo:

A_s = área da superfície da represa (m^2)

Q_{out} = vazão de saída (m^3/s)

Na Tabela (4.1) estão os dados bases do problema. Nela constam os diâmetros das frações da argila, silte, areia, agregados pequenos e agregados grandes. Assim o diâmetro médio da argila é 0,002mm, a do silte é 0,010mm e assim por diante.

As velocidades médias de sedimentação conforme EPA, 2004 estão em m/s.

Nela também estão as densidades específicas da argila, silte e areia que é 2,65 e 1,80 para agregados pequenos e 1,60 para agregados grandes.

Tabela 4.1- Partículas, porcentagens de massas e velocidade de sedimentação nos Estados Unidos conforme Foster El al, 1985 in Haan, et al, 1994.

Classe	Diâmetro (mm)	Densidade	Velocidade Sedimentação (m/s)
Argila primária (cl)- clay	Dcl=0,002	2,65	3,36E-07
Silte primário (si)-silte	Dsi=0,010	2,65	8,43E-05
Areia primária (sa)- sand	Das=0,200	2,65	1,91E-02
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,030 para Ocl<0,25	1,80	4,68E-04
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,2 (Ocl-0,25)+0,030 para 0,25 ≤ Ocl ≤ 0,6	1,80	4,68E-04
Agregado pequeno (sg)	Dsg=0,100 para Ocl>0,60	1,80	4,68E-04
Agregado grande (Lg)	DLg=0,300 para Ocl ≤ 0,15	1,60	2,04E-02
Agregado grande (Lg)	DLg=2 xOcl para Ocl ≥ 0,15	1,60	2,04E-02
Soma			

Na Tabela (4.2) estão a textura do solo no exemplo, que tem fração de 0,1 para argila, 0,2 para silte e 0,8 para areia totalizando a unidade 1,0. Para cada caso que temos que analisar, usaremos os valores médios achados na bacia em estudo.

Tabela 4.2- Valores encontrados nas águas pluviais

Classe	Textura do solo do local (fornecido para o exemplo)
Argila (Ocl)	0,1
Silte (Osi)	0,2
Areia (Osa)	0,7
Total=	1,0

A Tabela (4.3) apresenta a fração de sedimentos considerando a fração de solo, podemos calcular a fração de sedimento conforme mostrado. Assim o valor FcL pode ser calculado assim:

$$FcL=0,26x OcL= 0,26 x 0,1=0,026$$

Tabela 4.3-Fração de sedimentos por classes de solo

Classe	Exemplo Fração textura do solo (mm)	As equações CREAMS da fração de sedimento Conforme Foster el al, 1985 in Han, et al 1994	Fração da área permeável
Argila primária (cl)- clay	OcL=0,10	FcL=0,26xOcL=0,26 x 0,1	0,026
Silte primário (si)-silte	Osi=0,20	Fsi=Osi - Fsg=0,2-0,18	0,020
Areia primária (sa)- sand	Osa=0,70	Fsa=Osa (1-Ocl) ⁵ =0,7(1-0,1) ⁵	0,413
Agregado pequeno (sg)		Fsg=1,8 Od=1,8 (0,1) para Ocl<0,25	0,180
Agregado pequeno (sg)		Fsg=0,6 Ocl para Ocl>0,50	
Agregado pequeno (sg)		Fsg=0,45-0,6 (Ocl -0,25) para 0,25 ≤ Ocl ≤ 0,50	
Agregado grande (Lg)		FLg=1-FcL-Fsi-Fsa-Fsg=1-0,026-0,020-0,413-0,18	0,361
Soma		Total=	1,000

Conforme Haan, et al 1995 as frações de areia, silte e argila são calculada sabendo que as partículas de agregados grandes correspondem a partículas de areia e de pequenos agregados correspondem ao silte desta maneira:

$$\text{Fração de areia} = FLg + Fsa = 0,361 + 0,413 = 0,774$$

$$\text{Fração de silte} = Fsg + Fsi = 0,18 + 0,020 = 0,2$$

$$\text{Fração de argila} = 0,026$$

Total será igual a 1.

Na Tabela (4.4) estão as classes: argila, silte, areia, agregados pequenos e agregados grandes. Na coluna 2 estão as frações da área permeável já calculado na Tabela (4.3).

Na coluna 2 estão as frações da área impermeável estimado pela EPA, 2004.

Na coluna 4 estão a fração total da bacia considerando a fração de área impermeável $AI=0,10$ e aplicando a equação podemos obter todos as linhas que são 0,0494; 0,0730 etc totalizando 1,00.

Tabela 4.4-Fração de sedimentos por classes de solo (continuação) sendo AI a fração da área impermeável da bacia

Classe	Fração da área Permeável (calculado)	Fração de área impermeável Estimado pela EPA, 2004	Fração total na bacia $(1-AI)x(2)+(3)xAI$	Eficiência
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Argila primária (cl)- clay	0,026	0,26	0,0494	0,002
Silte primário (si)-silte	0,020	0,55	0,0730	0,391
Areia primária (sa)- sand	0,413	0,19	0,3910	1,000
Agregado pequeno (sg)	0,180	0,00	0,1620	0,880
Agregado grande (Lg)	0,361	0,00	0,3246	1,000
Soma	1,000	1,00	1,00	0,89

O cálculo da eficiência está na Coluna 5

$$Vc = Qout / As$$

$$Qout = 0,75m^3/s$$

$$As = 0,48ha \times 10000m^2$$

$$Vc = Qout / As = 0,75 / (0,48 \times 10000) = 0,00015625$$

Eficiência da remoção

Para a eficiência vamos mostrar a conhecida equação de Fair e Geyer, 1954 para as condições dinâmicas.

$$\eta = 1 - [(1 + Vs / (n \times Q/A))]^{-n}$$

Sendo:

η = eficiência dinâmica da deposição para remoção de sólidos em suspensão

Vs = velocidade de sedimentação (m/h)

n = fator de turbulência de Fair e Geyer, 1954 sendo usualmente admitido $n=3$ para “boa performance”

Q = vazão no reservatório (m^3/h)

A = área da superfície do reservatório (m^2)

Adotando n=3

$$\eta = 1 - [(1 + V_s / (n \times Q/A))]^{-n}$$

$$Q/A = 0,00015625$$

$$\eta = 1 - [(1 + 0,000000336 / (3 \times 0,00015625))]^{-3}$$

$$\eta = 0,002$$

Na Tabela (4.5) temos a eficiência na coluna 1.

Na coluna 2 temos a fração de argila 1,0 e na fração de silte e areia não temos nenhuma fração da argila e devido a isto consta o valor zero.

Pode existir argila nos agregados pequenos e agregados grandes que são calculados conforme as equações que constam da Tabela (4.5).

Para a área impermeável temos somente o valor 1,00 para a argila.

Na coluna 4 para o total da bacia temos 1,00 para a argila e o cálculo para o total da bacia que é 0,296.

Tabela 4.5- Frações de argila em classes conforme EPA, 2004

Eficiência TE	Área permeável	Área impermeável	Total da bacia
(1)	(2)	(3)	(4)
0,002	1,000	1,00	1,00
0,391	0,000	0,00	0,00
1,000	0,000	0,00	0,00
0,880	Ocl/(Ocl+Osi)=0,1/(0,1+0,2)=0,333	0,00	7,2ha x 0,33/8ha=0,296
1,000	Ocl-Fcl-Fsg x CFsg=0,1-0,0494-0,1620*0,33 Se <0 colocar 0	0,0	0,0
0,89			

Na Tabela (4.6) começam os cálculos da massa de TSS que pode ser de duas maneiras. A primeira maneira é a descarregada, isto é, aquela que não é depositada e depois temos a massa de sólidos totais em suspensão TSS que é depositada na bacia.

Tabela 4.6- Massa descarregada e massa removida

Md- massa descarregada (kg)	Mt massa depositada (kg)	Mcp. T	Mcp. D
(1)	(2)	(3)	(4)
68,371	0,147	0,147	68,371
61,650	39,602	0,000	0,000
0,000	542,332	0,000	0,000
26,963	197,732	59,320	8,089
0,000	450,211	0,000	0,000
156,984	1230,024	59,4667	76,4601
		135,927	

Método simples de Schueler

Para o cálculo da carga total de TSS, usaremos o Método Simples de Schueler, 1987, que é muito usado nos Estados Unidos.

Massa total Yt= 0,01 x P x 0,9 x Rv x C x A

P=800mm (precipitação média anual)

0,9= consideramos que somente 0,90 produz runoff

AI= 10%

$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,14$ (coeficiente volumétrico)

C=172mg/L (adotado para bacia em áreas residenciais médias para TSS)

A=8ha (área total da bacia)

Massa total $Y_t = 0,01 \times P \times 0,9 \times R_v \times C \times A$

Massa total $Y_t = 0,01 \times 800 \times 0,9 \times 0,14 \times 172 \times 8 = 1387\text{kg}$

Massa descarregada= $Y_t \times (1-AI)$ fração de sedimentos na bacia

AI=0,1

Massa descarregada= $1387\text{kg} \times (1-0,1) \times 0,0494 = 68,371\text{ kg}$

Coluna 4 da Tabela (4.4) temos o valor na primeira linha 0,0494

Massa depositada no reservatório = $Y_t \times \text{eficiência} \times \text{fração de sedimentos na bacia}$

Massa depositada no reservatório= $1387\text{kg} \times 0,002 \times 0,0494 = 0,147$

$M_{cp,t}$ = massa depositada x fração total da bacia (coluna 4 da Tabela (4.5))

$M_{cp,t} = 0,147 \times 1,0 = 0,147$

$M_{cp,d}$ = massa descarregada x fração total da bacia

$M_{cp,d} = 68,4 \times 1,00 = 68,4$

Eficiência = $1230\text{kg} / (1230\text{kg} + 157\text{kg}) = 0,89$

Portanto, foram retidos 89% de sólidos em suspensão TSS

Nitrogênio e Fósforo

Usando o método simples de Schueler, 10987 para os nutrientes nitrogênio e fósforo. Admitimos que a quantidade de nitrogênio na bacia seja de 1,88 mg/L e de fósforo 0,4mg/L

Nitrogênio total = $0,01 \times P \times 0,9 \times R_v \times C \times A$

Nitrogênio total = $0,01 \times 800\text{mm} \times 0,9 \times 0,15 \times 1,88 \times 8\text{ha} = 15,16\text{ kg/ano}$

Fósforo total = $0,01 \times P \times 0,9 \times R_v \times C \times A$

Fósforo total = $0,01 \times 800\text{mm} \times 0,9 \times 0,15 \times 0,4 \times 8\text{ha} = 3,23\text{kg/ano}$

Tabela 4.8- Remoção de nutrientes como fósforo total e nitrogênio total

0,0349		sedimentável		0,0074	
Nitrogênio depositada	Nitrogênio descartado	Nitrogênio total decantado	Fósforo depositada	Fósforo descartado	Fósforo total decantado
0,005	2,385	2,39	0,00	0,51	0,51
0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
2,299	0,314	2,61	0,49	0,07	0,56
0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
2,304	2,699	5,00	0,49	0,57	1,06
	Eficiência na remoção do nitrogênio:			Eficiência na remoção do fósforo:	
	15			15	

Coeficiente de nitrogênio= $0,33 \times \text{Nitrogênio total na bacia} / (\text{Mcp,t} + \text{McpD}) =$
 $= 0,33 \times 15,16 / (66,06 + 77,36) = 0,0349$

Idem para o fósforo

Coeficiente de fósforo= $0,33 \times \text{fósforo total na bacia} / (\text{Mcp,t} + \text{McpD}) =$
 $= 0,33 \times 3,23 / (66,06 + 77,36) = 0,0074$

Nitrogênio depositada= coeficiente de nitrogênio x Mcp,t

Nitrogênio depositada= $0,0349 \times 0,15 = 0,05 \text{ kg}$

Nitrogênio descartado= coeficiente de nitrogênio x Mcp, d

Nitrogênio descartado= $0,0349 \times 68,37 = 2,3851 \text{ g}$

Idem para o fósforo

Eficiência na remoção do nitrogênio= $2,304 \text{ kg} \times 100 / 15,16 = 15\%$

Idem para o fósforo

Exemplo 4.1- Piscinão do Pacaembu, São Paulo

Para este exemplo vamos supor que estamos querendo saber qual a remoção de sedimentos TSS do reservatório de retenção do Pacaembu localizado em São Paulo na Praça Charles Muller e que foi construído em 1992 com os seguintes dados:

Área de drenagem 222ha

Área impermeável= 55%

Tempo de concentração= 15min

Período de retorno= 25anos

Método de cálculo: Santa Bárbara

Volume do reservatório= 74.000m³

Área de superfície= 15.000m²

Profundidade útil= 5,60m

Vazão de saída= 13m³/s

Escoamento por gravidade com orifício de 1,00m x 0,50m

Vazão de pico que entra no reservatório de retenção: 43m³/s

Nota: mais detalhes ver livro Tomaz, 2002 sobre Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para obras municipais.

Como não temos dados supomos os mesmos da Tabela (4.2) usado pela EPA, 2004.

Tabela 4.9- Cálculos de remoção de TSS, nitrogênio e fósforo do piscinão do Pacaembu

Classe	Fração de sedimentos da área permeável	Diâmetro (mm)	Densidade	Velocidade Sedimentação (m/s)	Fcl	Fi
					Fração de sedimentos da área impermeável	Fração de Sedimentos total na bacia
Argila primária (cl)- clay	0,026	0,002	2,65	0,000000336	0,26	0,1547
Silte primário (si)-silte	0,020	0,010	2,65	0,000084300	0,55	0,3115
Areia primária (sa)- sand	0,413	0,200	2,65	0,019080000	0,19	0,2905
Agregado pequeno (sg) small aggregate	0,180	0,030	1,80	0,000468000	0,00	0,0810
Agregado grande (Lg) large aggregate	0,361	0,300	1,60	0,020370000	0,00	0,1623
Soma	1,000				1,00	1,0000
					Estimado por Driscoll, 1986	

Tabela 4.10- Cálculos de remoção de TSS, nitrogênio e fósforo do piscinão do Pacaembu

Tei	Fração de TSS de argila área permeável			Kg	kg	
Eficiência TE		área impermeável	Total bacia	Md- massa descarregada	Mt massa depositada	Mcp. depositada
0,000	1,000	1,00	1,00	41996,24	16,28	16,28
0,091	0,000	0,00	0,00	76872,92	7722,43	0,00
0,998	0,000	0,00	0,00	136,08	78757,40	0,00
0,391	0,333	0,00	0,150	13388,36	8609,14	1291,37
0,999	0,000	0,00	0,000	63,92	44011,38	0,00
0,51				132458	139117	1307,66
Eficiência						45312,15
Eficiência na remoção de TSS						
51						

Tabela 4.11- Cálculos de remoção de TSS, nitrogênio e fósforo do piscinão do Pacaembu

	0,0216		sedimentável		0,0046	
Mcp, D	Nitrogênio depositada	Nitrogênio descartado	Nitrogênio total decantado	Fósforo depositada	Fósforo descartado	Fósforo total decantado
41996,24	0,352	907,878	908,23	0,07	193,17	193,24
0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
2008,25	27,917	43,415	71,33	5,94	9,24	15,18
0,00	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
44004,49	28,269	951,293	979,56	6,01	202,40	208,42
		Eficiência na remoção do nitrogênio:			Eficiência na remoção do fósforo:	

Tabela 4.11- Cálculo de TSS segundo método simples de Schueller

	Total anual em kg	Tabela utilizada	(mg/L)	Método de cálculo
TSS (kg)	271.574	Tabela (mg/L)	172	Método Simples de Shueller
Nitrogênio (kg)=	2.968,37	Tabela (mg/L)	1,88	Método Simples de Shueller
Fósforo (kg)=	631,57	Tabela (mg/L)	0,4	Método Simples de Shueller

Tabela 4.12- Cálculos do tempo de residência e de Vc

Vc=qout / As =	0,000866667m/s
Volume do piscinão (m ³)=Smax=	74000m ³
Qsaida (m ³ /s)=	13,0m ³ /s
Profundidade (m) D=Smax/As=	4,93m
Tempo de residência (h)=	1,58h

Conforme Tabela (4.11) anualmente entrarão no reservatório de detenção de 74.000m³ 271.574 kg de TSS, 2,968,37kg de nitrogênio total e 631,57 kg de fósforo total. Do total de TSS somente será depositado 51% de 271.574 ou seja, **139.117kg**.

No que se refere ao fósforo total e nitrogênio total somente serão retidos no reservatório 0,95%, que é muito pouco. Caso a detenção fosse de 24h ao invés 1,58 horas conforme Tabela (4.12) teríamos maior retenção de TSS bem como de NP e PT.

4.3 Bibliografia e livros consultados

- HAAN, C.T. et al. *Design Hydrology and sedimentology for small caachments*. 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).
- TOMAZ, PLINIO. *Poluição Difusa*. Navegar Editora, 2006.
- USEPA. *Methodology for analysis of detention basins for controlo 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.