

## **Capítulo 7**

### **Carga de sólidos no runoff**

## Capítulo 07-Carga de sólidos devido ao runoff

### 7.1-Introdução

O objetivo é mostrar metodologia para estimar a carga de sólidos de uma bacia devido ao resíduo, materiais flutuantes, poeiras e detritos em ruas e a erosão do solo em espaços abertos.

Todo este trabalho foi feito baseado na Usepa, 2004 no trabalho de Chi-Yuan Fan denominado *Sewer Sediment and Control- a management practices reference guide*, EPA/600/R-04/059 de janeiro de 2004.

Usaremos também muitas informações obtidas em nosso país sobre perda de solos baseada no livro de Hidrologia e Recursos Hídricos do prof. Dr. Antonio Marozzi Righetto da USP São Carlos.

### 7.2 Resíduo e material flutuante

O resíduo urbano compõe-se de papéis, plásticos, pontas de cigarros, pedaços de madeira, etc que encontramos nas ruas, parques, jardins, lanchonetes.

A quantidade de resíduo varia enormemente de local para local e achamos para o Brasil uma média aproximada de 2% do resíduo urbano vai acabar nas galerias de águas pluviais.

A cidade de Auckland, Nova Zelândia a taxa anual de resíduo está na Tabela (7.1) conforme Usepa, 2004.

**Tabela 7.1- Valores da taxa anual de resíduo, volume seco e peso**

Categoria das áreas	Taxa de carga anual de resíduo (kg/ha x ano)	Volume seco (m <sup>3</sup> /ha x ano)	Peso seco (kg/m <sup>3</sup> )
Área comercial	1,35	0,014	96,4
Área industrial	0,88	0,009	97,8
Área residencial	0,53	0,006	88,3

Fonte: USEPA, 2004

### 7.3 Carga de resíduos em áreas residências, comerciais e industriais

Conforme Armitage e Rooseboom, 2000 in Usepa, 2004 a equação empírica para determinar o volume de resíduo na África do Sul é o seguinte:

$$T = \sum f_{sci} \times (V_i + B_i) A_i$$

Sendo:

T= carga anual de resíduos em áreas residenciais, comerciais e industriais (m<sup>3</sup>/ano)

f<sub>sci</sub>= fator de limpeza da rua que varia de f<sub>sci</sub>=1,0 para limpeza regular para f<sub>sci</sub>=6,0 para quando não há serviço de limpeza nas ruas.

V<sub>i</sub>= carga total da vegetação para cada tipo de solo V<sub>i</sub> varia de 0,0 m<sup>3</sup>/ha x ano para solos com pouca vegetação para 0,5m<sup>3</sup>/ha x ano para solos com vegetação densa.

A<sub>i</sub>= área de cada tipo de solo (ha)

B<sub>i</sub>= taxa básica de resíduo para cada tipo de solo conforme Tabela (7.2)

**Tabela 7.2- Taxa de resíduo para cada tipo de categoria de área**

Categoria das áreas	Taxa de resíduo para cada tipo de área Bi (m <sup>3</sup> /ha x ano)
Área comercial	1,20
Área industrial	0,80
Área residencial	0,01

Fonte: Usepa, 2004

### Exemplo 7.1

Calcular a carga anual de resíduos e materiais flutuantes conforme Armitage e Rooseboom, 2000 in Usepa, 2004.

Temos áreas de residências de baixa e alta densidade. Temos escola, área comercial, área industrial e parques públicos. As respectivas áreas são em hectares.

Para cada uso do solo temos os valores de Bi, Vi, fsci.

Calculamos cada valor de T.

$$T = \sum fsci \times (Vi + Bi) Ai$$

Para a primeira linha temos:

$$Bi = 0,01 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$$

$$Vi = 0,02 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$$

$$Ai = 300\text{ha}$$

$$fci = 1 \text{ (adotado)}$$

$$T = fsci \times (Vi + Bi) Ai$$

$$T = 1,0 \times (0,01 + 0,02) \times 300\text{ha} = 9\text{m}^3/\text{ano}$$

Como a densidade da área residencial baixa é de 88,3kg/m<sup>3</sup> teremos então o total de resíduo em kg:

$$\text{Total de resíduo em kg} = 88,3 \text{ kg/m}^3 \times 9\text{m}^3/\text{ano} = \mathbf{795\text{kg/ano}}$$

Da mesma maneira procedemos os cálculos para os outros tipos de área, sendo que o total anual será de **45.677kg/ano** de resíduo e materiais flutuantes que chegarão as galerias de águas pluviais conforme Tabela (7.3).

É o chamado **first flush da poluição difusa**.

**Tabela 7.3- Calculo das área residências, comerciais e industriais**

Uso do solo	Área (ha)	Carga de resíduo básico Bi (m <sup>3</sup> /ha /ano)	Carga de vegetação Vi (m <sup>3</sup> /ha ano)	Fator fsci	T= fsci x ( Vi + Bi) x A	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Total de resíduo kg/ano)
Residência com baixa densidade	300	0,01	0,02	1	9	88,3	795
Residência com alta densidade	100	0,02	0,02	1	4	88,3	353
Escola	20	0,02	0,03	1	1	88,3	88
Área comercial	200	1,2	0,03	1	246	96,4	23714
Área industrial leve	100	0,8	0,03	1	83	97,8	8117
Parques	280	0,5	0,01	1	143	88,3	12609
	1000			Total	486	Total	45677

#### 7.4 Acúmulo de poeira e detritos em ruas

Há duas situações: a primeira é quando o sedimento está depositado (*buildup*) e depois o seu transporte (*washoff*).

- A deposição dos sedimentos (*buildup*) é o processo pelo qual há acumulação da deposição seca nas áreas impermeáveis.
- A lavagem (*washoff*) é o processo pelo qual a deposição seca acumulada é removida pela chuva e pelo *runoff* e incorporada ao escoamento do fluido.

#### Acumulação de sedimentos em ruas (*buildup*)

A EPA tem três tipos de equações (potencia, exponencial e Michaelis-Menon) para estimar a carga de poeira e detritos. I

remos apresentar somente a equação de **Michaelis-Menon**:

$$DD = [(DDLIM) \times (T)] / (DDFACT + T)$$

Sendo:

DD= acumulação de poeira e detritos nas ruas (g)

DDLIM= limite de acumulação (g)

T= tempo (dias). Usualmente toma-se T=10dias

DDFACT=é um coeficiente normalmente adotado e igual a 0,90 x dias que é o tempo entre as chuvas.

Conforme **Delleur, 2001** in EPA, 2004 os valores de poeiras e detritos estimativos em ruas podem ser estimados pela Tabela (7.4B).

**Tabela 7.4B- Valores médios e faixa de variação de poeiras e detritos em ruas conforme Delleur, 2001**

Tipo de ruas	Carga inicial (g/m de sarjeta)	Taxa de deposição diária (g/m de sarjeta)	Máxima carga Observada (g/m de sarjeta)	Dias observados para a máxima carga
Media da textura lisa	150	9	>270	> 25dias
Faixa da textura lisa	35 a 710	1 a 40	85 a 910	5 a 70dias
Média da textura grossa	370	15	>750	>30dias
Faixa da textura grossa	190 a 630	6 a 34	370 a >1400	10 a >50

#### Exemplo 7.2

Calcular o acúmulo de poeira e detritos em ruas conforme Tabela (7.4).

Os valores máximos de cargas em gramas/metro de sarjeta e o tempo T foram retirados da Tabela (7.4B) de Delleur, 2001.

**Tabela 7.4- Acumulação na rua de poeiras e detritos nas ruas**

Tipo de estrada	Compr (km)	Comprimento total de guias(m)	Valores máximos (g/metro de sarjeta)	T (tempo) dias	coeficiente DDFAC =0,9dias	MiCHAE LIS (g)	g x comp
Rua	6	12.000	250	10	0,9	229	2748
Artéria secundaria	2	4.000	180	10	0,9	165	661
Artéria principal	1	2.000	150	10	0,09	149	297
Total=	9	18.000					3710

Para a primeira linha da Tabela (7.4) temos:

$$DD = (DDLIM) (T) / (DDFACT + T)$$

Sendo:

T= 10dias

DDFACT=0,9

DDLIM= 250g/metro de sarjeta

$$DD = (250 \times 10 \text{ dias}) / (0,9 \text{ dias} + 10 \text{ dias}) = 229 \text{ g}$$

Portanto, teremos 229g por metro e em 12.000m teremos:

Total= 12.000m x 229g/1000= **2.748kg/ano de poeira e detritos acumulados em 12.000metros.**

Procedemos da mesma maneira nas outras ruas obtendo o total de 3.710kg de poeira e detritos acumulados por todas.

### 7.5 Remoção de poeira e detritos nas ruas (*washoff*)

A carga de poeira e detritos é calculada usando a equação de Sarton e Boyd, 1972 *in* Usepa, 2004.

$$N = N_o \times [1 - \text{EXP}(-K \times R)]$$

Sendo:

N= quantidade de poeira e detritos na carga de lavagem (g/metro de sarjeta)

N<sub>o</sub>= quantidade de poeira e detritos no início (g/metro de sarjeta)

EXP= exponencial (e)

K= coeficiente de *washoff* (carga de lavagem) que varia de 0,167 a 1,007 dependendo da intensidade da chuva, da categoria da carga de poeira e da textura da categoria da rua. Para uma rua não muito importante adota-se K=0,5 e para ruas principais K=1,0 e para ruas intermediárias K=0,75.

R= precipitação total (mm). Normalmente se adota R=5mm de precipitação

#### Exemplo 7.3

Da continuidade do Exemplo (7.2), calcular a carga de lavagem (*washoff*)

A estimativa da poeira de acumulação é calculado da seguinte maneira:

Para a primeira linha:

12.000metros de sarjeta

12.000m x 250 g/metro de sarjeta/1000= 3.000kg= N<sub>o</sub>

Os coeficientes de lavagem (*washoff*) K escolhidos estão na coluna 3

Aplicando a Equação de Sarton e Boyd,1972 temos:

$$N = N_o \times [1 - \text{EXP}(-K \times R)]$$

$$K = 0,50$$

$$R = 5 \text{ mm}$$

$$N_o = 250 \text{ g/m}$$

$$N = 250 \times [1 - \text{EXP}(-0,50 \times 5)] = 229 \text{ g/m}$$

Para 12.000m de guias teremos:

$$229 \text{ g/m} \times 12000 \text{ m} = 2748000 \text{ g} = 2750 \text{ kg}$$

### 7.5 Estimativa total

Em uma área urbana a soma de sedimentos que são levadas pelas águas pluviais durante um ano é a somatória de três parcelas:

- 1) os detritos e sólidos flutuantes que estão nas áreas residenciais, comerciais e industriais
- 2) a carga da poeira e sujeira que estão nas ruas e avenidas quando não chove e quando chove
- 3) a carga trazida pela erosão das áreas permeáveis.

O Exemplo (7.4) mostrará um calculo completo adaptado da EPA, 2004

### Exemplo 7.4 Adaptado de EPA, 2004

O exemplo foi feito pela EPA, 2004 para mostrar a aplicação dos métodos estudados. A área total da bacia urbana tem 1200ha (12km<sup>2</sup>) distribuída conforme Tabela (7.5).

**Tabela 7.5- Uso do solo e distribuição das áreas**

Uso do solo	Área (ha)
Área residencial de baixa densidade	300
Área residencial de alta densidade	100
Escola	20
Área comercial	200
Área industrial leve	100
Praças públicas	280
Ruas comprimento= 6km	120
Pequenas artérias comprimento=2km	50
Grandes artérias comprimento= 1km	30
Total=	<b>1200</b>

As características das ruas e artérias estão na Tabela (7.6).

**Tabela 7.6- Comprimento das estradas, larguras, passeios, etc**

Comprimento (km)	Largura (m)	Guias (*) (m)	Estacionamento (*) (m)	Faixa de paisagismo (*)	Calçada (*) (m)	Linha de tráfico (m)
6	20	2	4	3	3	8
2	25	2	4	3	3	13
1	30	2	4	6	3	15

(\*) ambos os lados da rua

Os tamanhos dos lotes estão na Tabela (7.7).

**Tabela 7.7- Características residencial, comercial, escolas e indústrias**

Uso do solo	Número de parcelas	Área de cada parcela (m <sup>2</sup> )	Área de telhado (m <sup>2</sup> )	Área estacionamento e piso (m <sup>2</sup> )	Área de jardins (m <sup>2</sup> )
Casas unifamiliar	1200	2.500	500	300	1.700
Prédios de apartamentos	50	20.000	6.000	9.000	5.000
Edifícios comerciais	20	100.000	45.000	35.000	20.000
Escolas incluso campos atléticos	2	100.000	17.000	23.000	60.000
Área industrial leve	5	200.000	100.000	80.000	20.000

**Tabela 7.8- Características agregadas de cada uso do solo**

Uso do solo	Área total (ha)	Área de telhado (ha)	Área de estacionamento (ha)	Área de jardins (ha)
Área residencial de baixa densidade	300,0	24,0	36,0	240,0
Área residencial de alta densidade	100,0	30,0	45,0	25,0
Escolas	20,0	3,4	4,6	12,0
Áreas comerciais	200,0	90,0	70,0	40,0
Área industrial leve	100,0	50,0	40,0	10,0
Jardins	280,0	2,6	27,4	250,0
Ruas 6km	120,0	0	84,0	36,0
Pequenas Artérias 2km	50,0	0	38,0	12,0
Grandes artérias 1km	30,0	0	21,0	9,0
<b>Total=</b>	<b>1200,0</b>	<b>200,0</b>	<b>366,0</b>	<b>634,0</b>

Área permeável=  $(200\text{ha}+634)/1200=0,70$  (70%)

Área impermeável=0,30 (30%)

Vamos calcular os resíduos e sólidos flutuantes usando as equações empíricas de Armitage e Rooseboom, 2000 in Usepa, 2004

**Carga de resíduos e sólidos flutuantes nas diversas áreas residências, comerciais e industriais**

Para a primeira linha temos:

$B_i=0,01 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$

$V_i=0,02 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$

$A_i= 300\text{ha}$

$f_{ci}=1$  (adotado)

$$T = f_{sci} \times (V_i + B_i) \times A_i$$

$$T = 1,0 \times (0,01+0,02) \times 300\text{ha}=9\text{m}^3/\text{ano}$$

Como a densidade é  $88,3\text{kg}/\text{m}^3$  então teremos:

$$9\text{m}^3/\text{ano} \times 88,3 \text{ kg}/\text{m}^3=795\text{kg}/\text{ano}$$

**Tabela 7.9- Cálculo de resíduos e sólidos flutuantes para os diversos usos do solo**

Uso do solo	Área (ha)	Carga de resíduo básico $B_i$ ( $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$ )	Carga de vegetação $V_i$ ( $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$ )	Fator $f_{sci}$	$T = f_{sci} \times (V_i + B_i) \times A$	Densidade ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Total de resíduo ( $\text{kg}/\text{ano}$ )
Residência com baixa densidade	300	0,01	0,02	1	9	88,3	795
Residência com alta densidade	100	0,02	0,02	1	4	88,3	353
Escola	20	0,02	0,03	1	1	88,3	88
Área comercial	200	1,2	0,03	1	246	96,4	23.714
Área industrial leve	100	0,8	0,03	1	83	97,8	8.117
Parques	280	0,5	0,01	1	143	88,3	12.609
Total=	1000			Total =	486	Total=	<b>45.677</b>

**Portanto, a carga anual estimada de resíduos e sólidos flutuantes é de 45.677kg.**

**Carga de poeiras e detritos nas ruas**

$$DD = (DDLIM) (T) / (DDFACT + T)$$

Sendo:

T= 10dias

DDFACT=0,9

DDLIM= 250g/metro de sarjeta

$$DD = (250 \times 10 \text{ dias}) / (0,9 \text{ dias} + 10 \text{ dias}) = 229 \text{ g}$$

Portanto, teremos 229g por metro e em 12.000m teremos:

Total= 12.000m x 229g/1000= **2.750kg/ano de poeira e detritos acumulados em 12.000metros.**

**E assim por diante conforme Tabela (7.10).**

**Tabela 7.10- Acumulação na rua de poeiras e detritos**

Tipo de estrada	Comprimento (km)	Comprimento total de guias(m)	Valores máximos (g/metro de sarjeta)	Estimativa de acumulação de poeira e sujeira nas ruas entre as chuvas
Rua	6	12.000	250	2.750
Artéria secundária	2	4.000	180	660
Artéria principal	1	2.000	150	280
Total=	9	18.000		3.700

**Entre as chuvas: DDFAC=0,9d**

**T=10d**

**Carga de lavagem das ruas**

Vamos usar a equação de Michaelis-Menton que é usada para prever a poeira e sujeira acumulada nas ruas entre os eventos de chuvas, conforme Tabela (7.11).

$$N = N_0 \times [1 - \text{EXP}(-K \times R)]$$

$$K = 0,50$$

$$R = 5 \text{ mm}$$

$$N_0 = 2750 \text{ kg}$$

$$N = 2750 \text{ kg} \times [1 - \text{EXP}(-0,50 \times 5)] = 2750 \times 0,92 = 2530 \text{ g/m}$$

**E assim por diante**

**Tabela 7.11- Carga de lavagem das ruas durante as chuvas**

Tipo de estrada	Comprimento total de guias (m)	Estimativa de poeira e detritos entre os eventos (kg)	Coefficiente da carga de lavagem (kg)	Carga de lavagem (kg)
Rua	12.000	2.750	0,50	2530
Artéria secundária	4.000	660	0,75	645
Artéria principal	2.000	280	1,00	278
Total=	18.000	3.700		3453

**Média de precipitação usada = 5mm**

Cada chuva carrega 3.453kg de sólidos para a rede de drenagem. Considerando 20 chuvas de 5mm durante o ano teremos: **20chuvas x 3.453kg= 69.000 kg.**



**Nota:** a precipitação média em milímetros das chuvas é um dado não disponível no Brasil. Uma estimativa que fizemos para RMSP é de 7,0mm. Fica portanto **difícil** de fazer a estimativa da carga de lavagem das ruas no Brasil.

### **Erosão do solo permeável (Método RUSLE)**

A erosão nos solos dos jardins, parques, áreas abertas é calculado usando o método de **RUSLE** que está explicado no Capítulo 5 deste livro.

A Equação da *RUSLE* é:

$$A = R \cdot K \cdot (LS) \cdot C \cdot P$$

Sendo:

A= perda anual de solo (ton/ha/ano) devido ao escoamento superficial;

R= fator de erosividade. No Estado de São Paulo R varia de 575 a 800 MJ/ha/(mm/h)

K= fator de erodibilidade que varia de 0,03 a 0,79 ton/MJ/ha/(mm/h).

LS= fator de declividade e comprimento de encosta (adimensional)

C= fator de prática de cultura variando de 0,001 a 1,0 (adimensional)

P= fator de pratica de cultura contra erosão que varia de 0,3 a 1,0 (adimensional)

Suponhamos que esteja aplicada ao Estado de São Paulo

R=675 MJ/ha

K=0,1 solo com textura fina ou solo com muita argila

LS=1,00= fator topográfico adotado

C=0,001 gramado= fator de prática de cultura

P=1,0= fator de prática contra erosão em terras urbanas

$$A = R \cdot K \cdot (LS) \cdot C \cdot P$$

$$A = 675 \times 0,1 \times 1,00 \times 0,001 \times 1,0 = 0,068 \text{ ton/ha x ano}$$

**Tabela 7.12- Erosão do solo usando o método RUSLE**

Uso do solo	Área (ha)	Erosão do solo RUSLE (ton/haxano)	Valor total kg/ano
<b>Residencial, escola, comercial e industrial</b>	384	0,068	26.112
<b>Jardins e parques</b>	250	0,068	17.000
<b>Total</b>	634		43.112

## Sumário

O sumário de todas as cargas de sólidos para cada categoria está na Tabela (7.13).

**Tabela 7.13- Sumário das cargas de sólidos por categoria**

<b>Categoria de sólido</b>	<b>Carga anual (kg)</b>	<b>(%)</b>
Carga anual de detritos e sólidos flutuantes	45.677	29%
Carga anual de poeira e sujeira nas estradas	69.000	44%
Erosão do solo descoberto (área permeável)	43.112	27%
Total=	157.789	100%

A carga anual de sólidos da bacia é de 157.789 kg (157,789 t).

Em média temos  $157.789\text{kg}/1200\text{ha} = 131\text{kg/ha}$

É importante salientar que o Método Simples de Schueler, 1987 é para áreas até 236ha e a área que temos no exemplo tem 1200ha.

### **7.7 Bibliografia e livros consultados**

- AKAN, A OSMAN. *Urban Stormwater Hydrology*. Lancaster, Pennsylvania: Technomic, 1993, ISBN 0-87762-967-6, 268 p.
- USEPA. *Sewer Sediment and Control- a management practices reference guide*. EPA/600/R/R-04/059. Autor: Chi- Yuan Fan, janeiro de 2004.
- USEPA. *Stormwater best management practices- Design guide. Volume 2. Vegetativa Biofilters*. EPA/600/R04/121A. Autor: Michael L; Clar, september 2004.
- USEPA. *Methodology for analysis of detention basins of control of urban runoff quality*. EPA 440/5-87-001, september 1986.