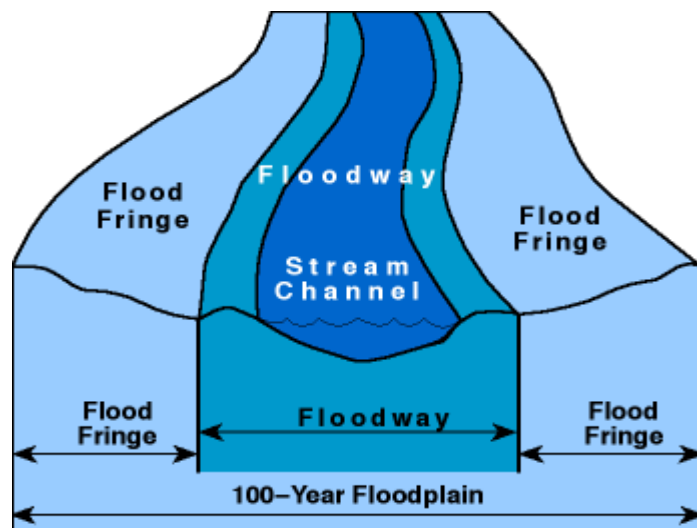


Capítulo 41 Critério Unificado

“Em 1973 foi aprovado nos Estados Unidos uma lei contra proteção de desastres de enchentes, dando ênfase a medidas não estruturais, encorajando e exigindo o seguro para enchentes de 100 anos de período de retorno”.

TUCCI, 2002



Ohio Department of natural resources

SUMÁRIO

Ordem	Assunto
	Capítulo 41 - Critério unificado
41.1	Introdução
41.2	Volume para melhoria da Qualidade das águas pluviais (WQv)
41.3	Controle de erosão (CP _v)
41.4	Vazão média e carga
41.5	Enchentes para Tr= 25anos (Qp ₂₅) ou Tr= 10anos (Qp ₁₀)
41.6	Regra dos 10%
41.7	Enchente máxima Tr= 100anos (Qp ₁₀₀)
41.8	Critérios hidrológicos do sistema unificado
41.9	Comparação de volumes
41.10	Observações de Ben Urbonas e Peter Stahre

20páginas

Capítulo 41 – Critério Unificado

41.1 Introdução

Com objetivo de controlar enchentes, melhorar a qualidade das águas pluviais, proteger os cursos de água contra erosão, usa-se o **critério unificado**, conforme a Tabela (41.1), Figura (41.1) e Figura (41.2), podendo a sua aplicação ser isolada ou combinada.

Tabela 41.1 - Critério unificado

Ordem	Critério unificado	Descrição	Volume
1	Melhoria da qualidade das águas pluviais	Usaremos o método volumétrico WQv. Deter 80% dos sólidos totais em suspensão (TSS) correspondente à regra dos 90% das precipitações, que produzem runoff na RMSP (Região Metropolitana de São Paulo) e que corresponde a precipitação de 25mm. Adota-se o mínimo de área impermeável $AI \geq 10\%$; área da bacia máxima $A \leq 200ha$ ($2km^2$) e mínimo $P \geq 13mm$.	WQ_v
2	Controle da erosão nos córregos e rios	Usa-se período de retorno entre 1,5 anos e 2 anos e chuva de 24h para o TR-55. O período de detenção no reservatório deve ser de 24h.	CP_v
3	Enchente para período de retorno de Tr= 100anos	O pico de descarga para período de retorno de 100 anos deverá ser controlado no pós-desenvolvimento.	V₁₀₀
4	Enchentes extremas de período de retorno de Tr= 100 anos	Considera-se chuva extrema aquela de período de retorno de 100anos e duração de 24h. Se a barragem tem mais de 5m de altura adotar Tr=1000anos para cálculo do vertedor.	V₁₀₀

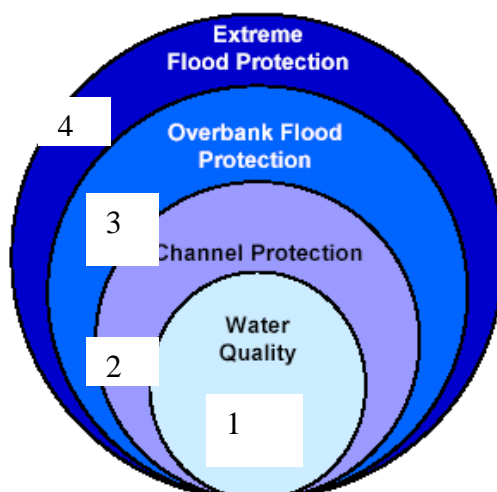


Figura 41.1 - Representação esquemática do critério unificado

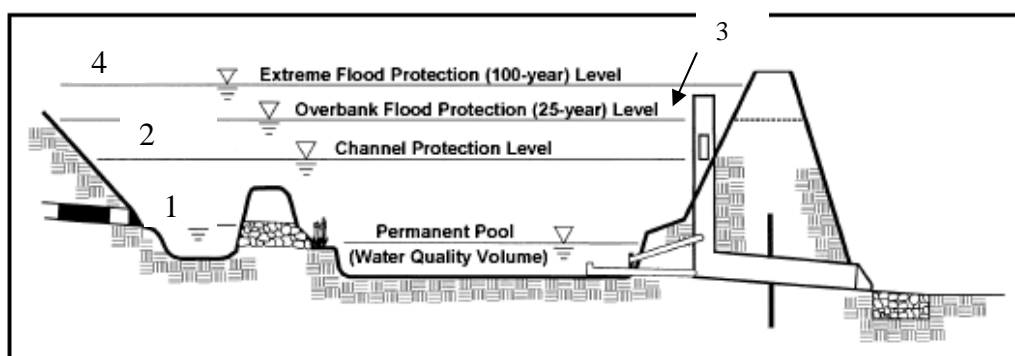


Figura 41.2 - Esquema do critério unificado

41.2 Volume para melhoria da Qualidade das Águas Pluviais (WQ_v)

O critério de dimensionamento de um reservatório para melhoria de qualidade WQ_v e controle da poluição difusa, especifica o volume de tratamento necessário para remover uma parte significativa da carga de poluição total existente no escoamento superficial das águas pluviais.

Este volume é proporcional a área impermeável. No caso, supomos que 90% das precipitações que produzem *runoff* e estimamos que assim a precipitação achada faça uma redução de sólidos totais em suspensão (TSS) de 80%, bem como outros parâmetros dos poluentes.

SCHUELER, (1987) usou as Equações (41.1) e (41.2) para achar o volume WQ_v.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot AI \quad \text{(Equação 41.1)}$$

$$WQ_v = (P/1000) \cdot R_v \cdot A \quad \text{(Equação 41.2)}$$

Sendo:

R_v = coeficiente volumétrico que depende da área impermeável R_v ≥ 0,14 (AI=10%)

AI = área impermeável da bacia em percentagem sendo AI ≥ 10%;

A = área da bacia em m^2 sendo $A \leq 100ha$ ($1km^2$). **Pode chegar até $2km^2$ conforme Schueler, 2007.**

P = precipitação adotada (mm) sendo mínimo $P \geq 13mm$. Adotamos $P = 25mm$ para a RMSP.

WQ_v = volume para melhoria da qualidade das águas pluviais (m^3).

Valor de P

Para a cidade de Mairiporã, São Paulo achamos para 90% das precipitações acima de 2mm e que produzem *runoff*, o valor $P = 25mm$, conforme Figura (41.3) e Tabela (41.2).

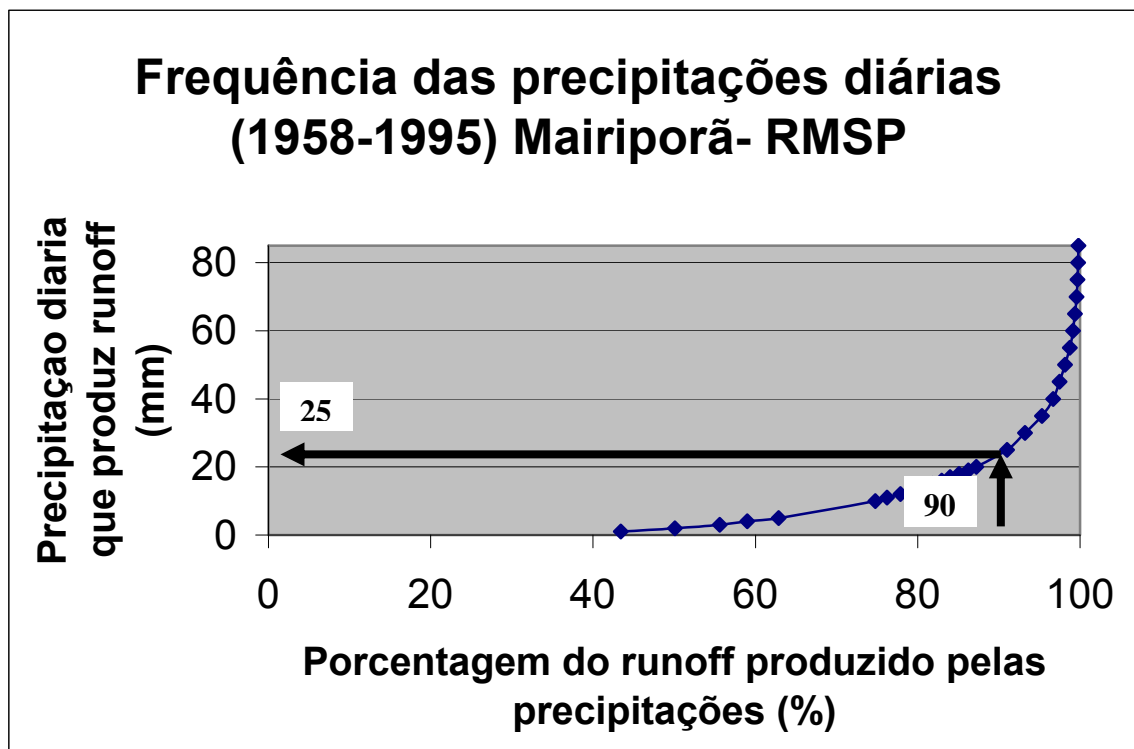


Figura 41.3 - Frequência das precipitações diárias que produzem *runoff* da cidade de Mairiporã, Estado de São Paulo. Usando a regra dos 90% de SCHUELER, 1987.

Tabela 41.2 - Frequência acumulada e precipitações diárias de Mairiporã de 1958 a 1995, a remoção de sólidos totais em suspensão (TSS).

Frequência Acumulada (%)	Precipitação diária de 1958 a 1995 de Mairiporã (mm)	Remoção de sólidos totais em suspensão (TSS)
43	1(não produz runoff)	
50	2(não produz runoff)	
56	3	
59	4	
63	5	
75	10	
76	11	
78	12	
80	13	
81	14	
82	15	
83	16	
84	17	
85	18	
86	19	
87	20	
90*	25	80%**
93,22	30	
95,30	35	
96,68	40	
97,49	45	
98,13	50	
98,72	55	
99,13	60	
99,36	65	
99,56	70	
99,69	75	
99,78	80	
99,81	85	

(*) Adotado por Schueler

(**) Estimativa

Exemplo 41.1

Dimensionar o reservatório para qualidade de águas pluviais WQ_v sendo a área da bacia de 20ha e área impermeável de 60%.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot AI = 0,05 + 0,009 \cdot 60 = 0,59$$

$$P = 25\text{mm} \quad A = 20\text{ha}$$

$$WQ_v = (P/1000) \cdot R_v \cdot A = (25\text{mm}/1000) \cdot 0,59 \cdot (20\text{ha} \cdot 10000\text{m}^2) = 2.950\text{m}^3.$$

Portanto, o reservatório para controle de qualidade de água das águas pluviais deverá ter 2.950m^3 de capacidade.

Exemplo 41.2

Calcular o volume necessário para melhoria da qualidade das águas pluviais de uma cidade com área impermeável de 70%. A área da bacia é de 50ha e a precipitação que atende a regra dos 90% de Schueler, 1987 é de P= 25mm .

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot AI = 0,05 + 0,009 \times 70 = 0,68$$

$$WQ_v = (P/1000) \cdot R_v \cdot A$$

$$WQ_v = (25\text{mm}/1000) \cdot 0,68 \cdot (50\text{ha} \times 10.000\text{m}^2) = 8.500 \text{ m}^3$$

Portanto, o reservatório para melhoria da qualidade das águas pluviais deverá ter 8.500m³ de capacidade.

Observar na Tabela (41.3) que a regra dos 90% de Schueler, 1987 corresponde a período de retorno de 3 meses. Para período de retorno de seis meses a altura de chuva é 33mm e para 98% temos o período de retorno de 1ano.

Tabela 41.3- Estimativa de freqüências e respectivas alturas de chuva conforme período de retorno

Porcentagem de todas as precipitações	Período de retorno	Altura de chuva (mm) Washington DC	Altura de chuva (mm) Mairiporã, Estado de São Paulo
30	7 dias	6	-
50	14 dias	10	2
70	1 mês	19	7
85	2 meses	27	18
90	3 meses	32	25
95	6 meses	42	33
98	1 ano	61	50

Fonte: adaptado de BMP, Schueler, 1987.

Schueler, 1987 toma o valor corresponde a 90%, ou seja, período de retorno de 3 meses que para Mairiporã é 25mm conforme Tabela (41.3).

A aplicação do volume WQ_v podemos fazer seguramente para bacias com áreas impermeáveis maior ou iguais a 25%, pois acredita-se que, para bacias com reservatório de água destinada a fornecimento de água potável, a área impermeável deve ser menor ou igual a 25%.

Reservatório *on line* e *off line*

O reservatório para melhoria da qualidade das águas pluviais, quando for construída para receber toda a vazão das águas pluviais, diz-se que ele está *on line* e, quando o mesmo está separado de toda a vazão diz-se que ele é *off line*. A escolha ótima dependerá sempre das condições locais.

41.3 Controle da erosão (CP_v)

O controle da erosão nos córregos e rios a jusante é feito através de um reservatório com volume CP_v projetado para período de retorno entre 1,5anos e 2anos (com valor estimado de 1,87ano), **chuva de 24h** e com retenção da água de 24h. A chuva de 24h foi adotada nos Estados Unidos nos estados de *New York, Maryland, Vermont e Geórgia*, sendo o período de retorno de 1(um) ano.

A aplicação deste critério é importante em canais naturais sujeitos à erosão devido ao desenvolvimento da região. Com a urbanização, as superfícies permeáveis das florestas e pastagens diminuem convertendo-se em áreas impermeáveis. Pesquisas indicam que o crescimento da vazão de pico chega a crescer de duas a seis vezes.

No ESTADO DE VERMONT, (2001) foi mostrado que quando a área impermeável fica entre 6% a 22%, os córregos e rios se alargam 1,24 a 2 vezes do seu tamanho original. As Figuras (41.5) e (41.6) mostram o processo de erosão em um córrego.



Figura 41.5 - Exemplo de erosão de um curso de água

Dica: quando a área impermeável de uma bacia é maior que 10% começam os problemas de erosão nos cursos de água.

Booth e Reinolt, 1993 em estudo feito in CANADÁ, (1999) chegaram à conclusão que, quando a bacia tem mais de 10% de sua área impermeabilizada, começam os problemas de alargamento dos rios e córregos e conseqüentemente a erosão dos mesmos.

A adoção do critério do período de retorno de 1,5 ano, chuva de 24h e retenção de 24h foi bastante discutida.

Nos Estados Unidos os Estados de *Maryland, Georgia, New York e Vermont* adotam $Tr=1$ ano sendo que *Maryland* o usa desde 1995.

Historicamente era usado $Tr= 2$ anos para o controle da erosão dos córregos e rios. A estratégia estava baseada no fato de que as descargas da maioria dos córregos e rios tivessem um período de recorrência entre 1 ano e 2 anos, com aproximadamente 1,5 anos o mais prevalente LEOPOLD, (1964) e (1994).

Estudos recentes, citados no ESTADO DE VERMONT, (2001) indicaram que o método de utilização de $Tr= 2$ anos não protegia a erosão a jusante e que contribuía justamente para aumentar a erosão, pois as margens dos córregos e rios estavam expostas a eventos bastante erosivos, conforme demonstrado por *MacRae*, 1993, *McCuen* em 1996 e *Moglen* em 1988.

As obras executadas com $Tr= 2$ anos, de maneira geral, fornecem escoamento acima dos valores críticos para o transporte da carga de fundo (*bedload*) e de sedimentos.

MacRae também documentou que as obras realizadas com $Tr= 2$ anos produzem o alargamento do córrego ou rio de até três vezes a condição do pré-desenvolvimento, conforme ESTADO DE VERMONT, (2001).

A razão fundamental é que, enquanto o pico de descarga não muda sob as condições de desenvolvimento, é que a duração e frequência das vazões erosivas aumentam muito. Como resultado o “trabalho efetivo” do canal do córrego é mudado para escoamentos superficiais de eventos mais frequentes que estão na faixa de 0,5 ano até 1,5 ano, conforme *MacRae*, 1993 in ESTADO DE VERMONT, (2001).

TUCCI, (2001) diz que o risco do leito menor dos rios está entre 1,5 anos e 2 anos, mas juntamente com *Genz* em 1994 fazendo estudos nos rios do Alto Paraguai, chegaram a período de retorno $Tr= 1,87$ anos.

Dica: para o controle da erosão adota-se período de retorno entre 1ano e 2ano.

McCuen, 1979 escolheu um segundo método onde se deveria tomar para controle da erosão 50% ou menos da vazão de pico do pré-desenvolvimento para $Tr= 2$ anos. Isto vem mostrar que a escolha de $Tr=2$ anos não é adequada. Verificando-se o critério de *McCuen* pudemos constatar que os 50% da vazão de pico do pré-desenvolvimento fornece praticamente a vazão de pico com $Tr= 1,5$ anos.

Um outro critério é o uso de $Tr= 1$ ano para o controle da erosão, usando uma chuva de 24horas como é usual. *MacRae*, 1993, entretanto demonstrou que usando $Tr= 1$ ano não protege o canal totalmente da erosão. Foi demonstrado que, dependendo do material das margens dos rios e do fundo do leito o canal, pode se degradar com $Tr= 1$ ano, conforme ESTADO DE VERMONT, (2001).

Dica: o ESTADO DE NEW YORK (2001) exige estudos geomorfológicos especiais para a proteção do canal quando a área da bacia é maior que 20ha e a área impermeável é maior que 25%.

Dica: o ESTADO DE NEW YORK, (2001) recomenda que não é necessário se prever erosão de canal quando o lançamento é feito em rios grandes, rios de quarta ordem e em estuários.

Na Figura (41.6) temos um gráfico onde aparece na abscissa a área impermeável de uma bacia e na ordenada o razão de alargamento, dependendo se o canal é em rocha, aluvião etc.

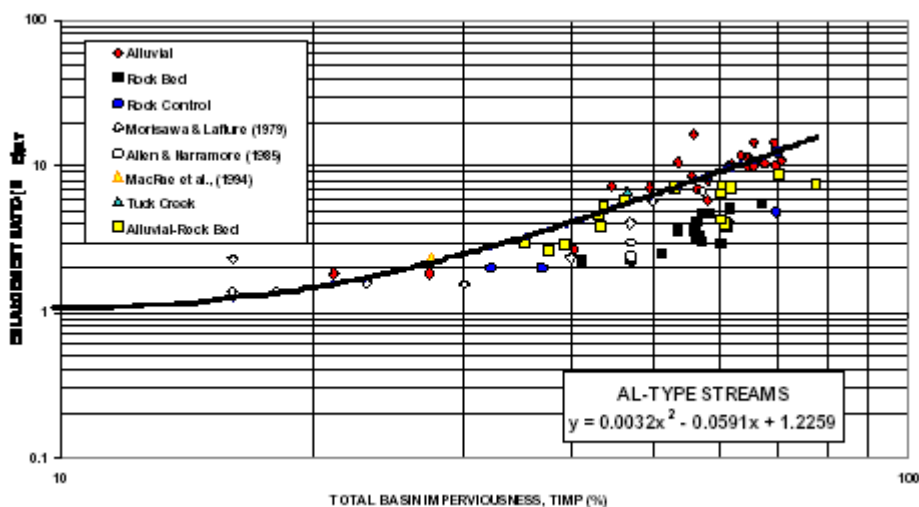


Figura 41.6 - Alargamento do canal em função da área impermeável da bacia, sendo MacRae et al., 1999 in CANADÁ, (2003).

Observa-se que a partir de 10% de área impermeabilizada a razão de alargamento vai aumentando cerca de 60% de área impermeável chegando praticamente a um alargamento 10 vezes mais da largura original. É claro que tudo isto depende do material do canal, pois para rocha o alargamento será de aproximadamente 4 (quatro). A grande quantidade de dados são para canais em aluviões.

Conforme dr. Giorgio Brighetti, PHD 5023-Escola Politécnica- Obras fluviais as soluções que podem ser adotadas para reduzir a ação indesejável do escoamento com repercussões na estabilidade são:

- a) seção mista com um canal inferior menor para vazões comuns com período de retorno de 1 a 2anos (cheia anual) e
- b) outro superior maior para vazões extraordinárias com período de retorno de 25, 50 ou 100anos.

Portanto, podemos ver que o leito menor estável tem período de retorno entre 1ano a 2anos.

Conforme Loret et al, 2000 a **vazão modeladora**, ou seja, aquela vazão representativa do transporte sólido anual é aquela com período de retorno **da ordem de 1,5anos a 2,0anos** conforme Garde e Range Raju, 1985. Para o rio Baquirivú-Guaçu em Guarulhos na RMSPa vazão modeladora é $q = 0,54 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{km}^2$.

A vazão sólida total $Q_s = 0,269 \times Q^{1,82}$ em (kg/s) e Q em m^3/s .

Conforme Schueler, 2007 o método para estimar o volume para proteção do canal contra erosão a jusante foi estimado pela primeira vez por Harrington em 1987.

41.4 Vazão média e carga

Existem varias maneiras de calcular a vazão média e como considerar a carga h. Vamos exemplificar baseado nos estudos feitos na GEÓRGIA, (2001).

Seja um reservatório de qualidade da água $WQ_v = 5000m^3$ e com altura de 1,20m desde o nível inferior até o nível de água para o controle de erosão. Vamos supor também que tempo de detenção seja de 24h.

Método 1

Primeiramente achar a vazão média:

$$24h = 86.400s$$

$$Q_{\text{médio}} = WQ_v / 86.400s = 5.000m^3 / 86400s = 0,058m^3/s = 58 \text{ L/s}$$

Para achar o diâmetro do orifício devemos usar a equação do orifício.

$$Q = C_d \cdot A \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{0,5}$$

$$C_d = 0,62$$

$$h = 1,20/2 = 0,60m \text{ (média)}$$

$$A = Q / [C_d \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{0,5}] = 0,058 / [0,62 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 0,60)^{0,5}] = 0,0169m^2$$

$$A = \pi \times D^2 / 4$$

$$D = (4 \cdot A / \pi)^{0,5} = (4 \times 0,0169 / \pi)^{0,5} = 0,15m = 150mm$$

Portanto, o orifício tem diâmetro de 0,15m. Recomenda-se diâmetro mínimo de 75mm para evitar um entupimento.

Outra maneira é usar a vazão máxima:

Método 2

$$Q_{\text{máximo}} = 2 \cdot Q_{\text{médio}} = 2 \times 0,058 = 0,116m^3/s$$

Aplicar a equação do orifício, mas usando o valor $h = 1,20m$ e não a sua metade.

$$A = Q / [C_d \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{0,5}] = 0,116 / [0,62 \cdot (2 \cdot 9,81 \cdot 1,20)^{0,5}] = 0,0387m^2$$

$$D = (4 \cdot A / \pi)^{0,5} = (4 \times 0,0387 / \pi)^{0,5} = 0,22m = 220mm. \text{ Adotado } D = 0,25m$$

41.5 Enchente para $Tr=100$ anos (Q_{p100})

Para evitar enchentes, isto é, que o rio ultrapasse as suas margens e avance sobre as residências, ruas e comércio deve ser feito um reservatório que deverá atender a vazão de pico Q_{p100} para chuva de 24h, sempre usando os conceitos de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

O controle da vazão de pico Q_{p100} não é feito para ser usado sozinho, mas sim com o controle da erosão C_{p_v} e da vazão de pico da chuva extrema Q_{p100} .

Deverá sempre ser feito um estudo a jusante do aumento da vazão e das velocidades atendendo-se a regra dos 10% e verificando-se que não há coincidências de picos.

A análise a jusante é muito importante quando a área de projeto é maior que 20ha ou quando a área impermeável é maior que 25%. Como critério usa-se diferença de 5% do aumento das vazões e das velocidades. Caso ultrapasse os 5%, deve-se refazer todo o projeto novamente.

Não esquecer a proteção com pedras através de *rip-rap* ou concreto armado na saída da tubulação do vertedor com objetivo de evitar erosão.

Dica: ESTADO DE NEW YORK, 2001 recomenda que não é necessário a previsão das enchentes quando o lançamento é feito em rios grandes, rios de quarta ordem e em estuários.

41.6 Regra dos 10%

A aplicação da regra dos 10% é para áreas de bacia acima de 20ha. Portanto, para áreas de bacias abaixo de 20ha não é necessário o uso da regra dos 10%.

Esta análise é a chamada regra dos 10%, conforme ESTADO DE NEW YORK, 2001. A análise verificará as velocidades e vazões em seções do canal espaçadas de 60m até o ponto onde termina a aplicação da regra dos 10%. Verificam-se, também, as confluências dos rios de primeira ordem e de ordens maiores.

Deverão ser observados os efeitos hidrológicos e hidráulicos nos bueiros, edifícios e outros estudos.

As velocidades deverão ser menores que 5% das condições de pré-dimensionamento e quando as estruturas a jusante ou edifícios não foram impactados.

Como exemplo, supomos que estamos estudando uma bacia com 30ha, onde se aplica a regra dos 10%, pois a bacia tem mais que 20ha.

Na regra dos 10% significa que vamos examinar uma área a jusante de 300ha de maneira que 10% desta área seja a área que estamos estudando.

Pode então ser aplicado o método de Muskingum-Cunge, por exemplo.

Conforme EPA, 2004 Debo e Reese 1992 fizeram pesquisas na cidade e condado de Greenville, SC e Raleigh, NC para estudar os efeitos a jusante do desenvolvimento em diferentes bacias de diversas formas e tamanhos. Através destes estudos. Através dos estudos chegaram a Figura (41.7) que os efeitos do desenvolvimento se estabiliza em aproximadamente 5% a 10% do total da área de drenagem, dependendo do tamanho e da impermeabilização da mesma. Daí nasceu a conhecida regra dos 10% que deveremos sempre verificar.

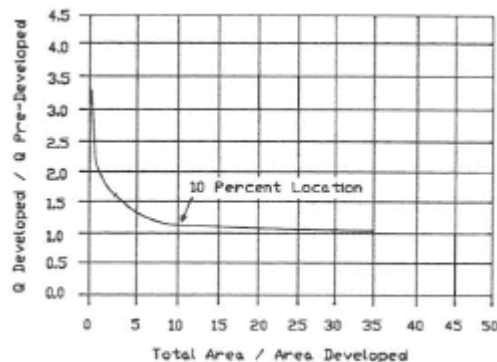


Figura 41.7- Limites de análise a jusante conforme Debo e Reese, 1992
Fonte: EPA,2004 Volume 1 página 4.19

41.7 Enchente máxima $T_r=100$ anos (Q_{p100})

É considerada chuva extrema aquela para período de retorno de 100anos e chuva de 24h. A vazão de pico é Q_{p100} . Deverão ser analisadas as pontes, áreas residenciais e comerciais que poderão ser inundadas com o pico Q_{p100} . O extravasor de emergência deverá atender a vazão de pico de 100 anos.

Deverá sempre ser feito um estudo a jusante do aumento da vazão e das velocidades, atendendo-se a regra dos 10% e verificando-se que não há coincidências de picos.

Dica: ESTADO DE NEW YORK, (2001) recomenda que não é necessário a previsão das enchentes máximas quando o lançamento é feito em rios grandes, rios de quarta ordem e em estuários.

Recomenda-se que seja deixada borda livre (*freeboard*) de 0,50m acima do topo do nível dos 100 anos, e que seja deixado livre 0,15m entre o nível da superfície de água dos 10 anos e a cota da base do vertedor de emergência.

Dica: a borda livre (f), ou seja, o *freeboard* de uma barragem pequena deve ser $f \geq 0,50\text{m}$ conforme DAEE, 2005.

Vertedor para chuva máxima

O vertedor para a chuva máxima ou o vertedor de emergência deverá ser dimensionado com as seguintes características:

- Período de retorno de 100anos e chuva de 24h.
- A largura do vertedor mínima recomendada em algumas cidades americanas é de $L \geq 2,40\text{m}$.
- A altura mínima do vertedor é de $h \geq 0,30\text{m}$.
- O vertedor de emergência poderá ser dimensionado de maneira para atender o período de retorno de 100anos e chuva de 24h ou com reservação de água para $Tr=100\text{anos}$ e a vazão para o vertedor obtida será a do *routing*. Quando a altura da barragem for maior que 5m adotar $Tr=1000\text{anos}$.
- Em caso de barragem de terra a largura mínima do topo será de 1,80m. Quanto mais alto for a barragem maior será a largura. Para altura de barragem de terra de 6,00m a largura mínima do topo será de 3,00m.

Dica: algumas cidades americanas aconselham largura mínima de um vertedor de 2,40m e altura da lâmina de água mínima de 0,30m.

O vertedor será calculado através da equação:

$$Q = \mu L (2g)^{0,5} \times h^{3/2}$$

Como $(2g)^{0,5} = 4,43$

$$Q = 4,43 \times \mu \times L \times h^{3/2}$$

$$Q = 1,55 \times L \times h^{3/2}$$

Sendo:

Q= vazão (m^3/s)

L= comprimento da crista do vertedor (m)

g= aceleração da gravidade = $9,81 \text{ m/s}^2$

h= carga sobre a crista do vertedor (m)

μ = coeficiente de vazão ($0,35 \leq \mu \leq 0,50$)

$\mu = 0,45$ para vertedor com perfil tipo Creager

$\mu = 0,35$ para vertedor de soleira espessa (adotado pelo DAEE,2005)

O NA máximo normal de um vertedor de soleira livre corresponde à cota da crista do vertedor.

O **NA máximo maximorum** corresponde ao maior nível que o reservatório atinge na ocasião de maior cheia. É a cota que corresponde a volume de controle de cheias conforme Tamada, 1999

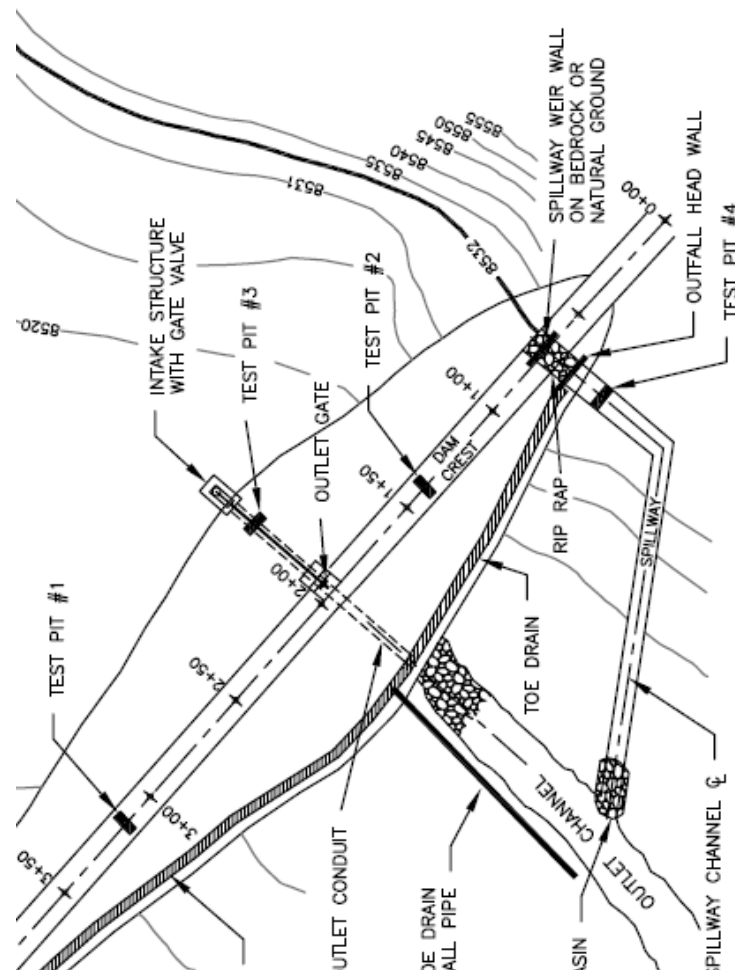


Figura 41.8- Observar o vertedor de emergência e o canal construído fora da barragem em local seguro.

Ação dos ventos - ondas

Conforme Tamada, 1999 um vento atuando frontalmente à barragem, forma ondas que vem incidir sobre o parâmetro de montante da barragem, atingindo uma altura h , acima do nível de água.

A altura de água h_o é determinada através da fórmula empírica de **Stevenson**.

$$h_o = 0,028 \cdot (V \cdot F)^{0,5} + 0,76 - 0,26 (F)^{0,25}$$

Sendo:

h_o = altura da onda (m)

V = velocidade do vento (km/h)

F = *fetch* = máxima distância medida em linha reta e na superfície da água (km)

Usualmente em projetos em São Paulo adota-se 100km/h a 120km/h.

No corpo da barragem o valor em que a água sobe é $h = 1,4 h_o$ aproximadamente.

Exemplo 41.8

Seja um pequeno reservatório com 100.000m^3 e com fetch $F= 0,4$ km.
Adotamos velocidade do vento $V= 120\text{km/h}$ e o comprimento da superfície livre é $F= 0,4\text{km}$.

$$h_o = 0,028 \cdot (V \cdot F)^{0,5} + 0,76 - 0,26 (F)^{0,25}$$

$$h_o = 0,028 \cdot (120 \cdot 0,4)^{0,5} + 0,76 - 0,26 (0,4)^{0,25}$$

$$h_o = 0,74\text{m}$$

$$h = 1,40 \times 0,74\text{m} = 1,04\text{m}$$

Portanto, as ondas provocadas pelo vento poderão atingir a altura de 1,04m,

41.8 Critérios hidrológicos do sistema unificado

Qualidade da água

Mede-se toda a área impermeável, que são as pavimentações, estradas de terra, telhados, passeios, estacionamentos, piscinas, pátios, etc.

O reservatório WQ_v deve ser esvaziando em 24h.

Proteção contra erosão

Usa-se o método TR-55, Método Santa Bárbara para determinar as vazões de picos com **$Tr= 1,0$ ano ou $Tr=2$ anos** e chuva de 24h e retenção deverá de 24h.

Quando o diâmetro da tubulação resultando do Cp_v for menor que **75mm**, poderá ser dispensado o reservatório Cp_v . Necessita-se de, no mínimo, 0,4ha de área impermeável para se aplicar o Cp_v .

O volume Cp_v pode ser dispensado com a vazão de pico da descarga pós-desenvolvimento é de **56 L/s**, conforme normas do ESTADO DA GEÓRGIA, (2001).

O volume para proteção de erosão a jusante deverá ser esvaziando em 24h.

Deverá ser verificado qual volume é o maior, o WQ_v ou CP_v e adotado o maior e sempre com esvaziamento em 24h.

Enchentes de $Tr= 100$ anos

Usa-se o método do SCS ou Método Santa Bárbara, e deverá ser feito o *routing* do reservatório usando o método modificado de *Pulz*. O DAEE, 2005 usa o Método Racional para bacias até 200ha.

41.9 Comparação dos volumes

Devem ser feitas comparações dos volumes e períodos de retornos.

Exemplo 41.9

Comparar os volumes para área da bacia de 15,2ha; área impermeável de 36,3% e coeficiente de *runoff* volumétrico $R_v = 0,05 + 0,09 \times 36,3 = 0,38$. Solos tipo C (60%), B (40%).

Tabela 41.6 - Valores de CN e t_c de pré e pós desenvolvimento

	Pré-desenvolvimento	Pós-desenvolvimento
Número da curva CN do NRCS	65	78
Tempo de concentração	0,45h	0,23h

Tabela 41.7 - Períodos de retornos e precipitações de 24horas

Período de retorno (anos)	Precipitação (mm)
1,5	55
2	56
5	79
10	89
25	104
100	122

Tabela 41.8 - Exemplos de volumes de acordo com períodos de retornos

Volume necessário	Volume (m ³)
Qualidade da água, considerando P= 22,86mm	1.270
Erosão Tr= 1,5ano 24h detenção	1.258
Tr= 2anos, vazão de pico	1.258
Tr= 5anos, vazão de pico	1.874
Tr= 10anos, vazão de pico	2.232
Tr= 25anos, vazão de pico	2.651
Tr= 100anos, vazão de pico	3.119

Deve-se observar que os volume não se somam. Assim para a quantidade de água de 1.270m³, supondo detenção de 24 horas para erosão, é necessário reservatório de 1.258m³. Como foi adotada chuva de inundação de Tr= 25anos consideramos uma inundação de 2.651m³. O volume da erosão de 1258m³ fica embutido dentro deste volume.

O volume de qualidade da água de 1.270m³ é constante, pois o mesmo não é esvaziado após a passagem das chuvas.

””

41.10 Observações de Ben Urbonas e Peter Stahre

Em artigo publicado por *Peter Stahre* e *Ben Urbonas* sobre *Stormwater Detention- Open Ponds* em *New Jersey, USA*, 1990 foram salientadas algumas observações sobre reservatórios de detenção.

A mais importante é a respeito das estruturas de saídas. Durante algum tempo os reservatórios de detenção foram projetados para uma simples frequência, como por exemplo, $Tr= 10$ anos; $Tr= 25$ anos ou $Tr= 100$ anos.

Estudos feitos por *Kamelduski* e *McCuen* em 1979 e *Urbonas* e *Glidden* em 1983 concluíram que o controle de um reservatório com único período de retorno de *runoff* não irá controlar o *runoff* para períodos de retornos diferentes.

Foi recomendado pelos autores citados que as estruturas de saída de um reservatório de detenção sejam feitas no **mínimo para dois períodos de retornos**.

Brulo et al. (1984), *Kamelduski e McCuen (1979)* e *Urbonas e Glidden (1983)* descreveram as vantagens de dois estágios de saídas para controlar os múltiplos períodos de retornos. O controle de dois diferentes períodos de retorno é importante.

Do ponto de vista prático, o controle de estruturas de saídas para períodos de retorno de 2 anos e 10 anos pode ser suficiente. Para grandes inundações pode ser usado período de retorno de 100 anos em adição a 2,0 anos e 10 anos.

A prática mais usada é que as vazões de saída das estruturas sejam aquelas de pré-desenvolvimento.

Devem ser seguidas as seguintes considerações de Peter Stahre e Ben Urbonas, 1990:

- A saída do reservatório de detenção deve ser um orifício, impedindo que pessoas desautorizadas tornem impraticável o alargamento do mesmo;
- Os projetos das saídas do reservatório de detenção devem oferecer segurança para a população;
- Sempre que possível o projeto deve considerar dois ou três períodos de retornos. Como exemplos: $Tr= 2$ anos e $Tr= 10$ anos; $Tr= 2$ anos e $Tr= 100$ anos; $Tr= 10$ anos e $Tr= 100$ anos; $Tr= 2$ anos, $Tr= 10$ anos e $Tr= 100$ anos; etc.
- Providenciar acessos para manutenção das saídas do reservatório;
- Se possível não usar peças móveis ou bombas. Usar equipamentos de maneira a impedir o vandalismo;
- Não esquecer de proteção da erosão na entrada e saída do reservatório;
- Considerar a manutenção e estética.

41.11 Acumulação de sedimentos em bacias de detenção

Conforme ASCE e WEF, 1998 in EPA, 2004 a acumulação de sedimentos em uma bacia é dada pela equação:

$$V_p = 1,45 \times 10^{-6} (Q \times C \times TE / R)$$

$$Q = R_v \times P$$

Sendo:

V_p = profundidade média do sedimento no fundo da lagoa (mm)

Q = runoff médio anual na bacia (mm)

R_v = coeficiente volumétrico

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

AI = área de impermeabilização (%)

C = concentração média de sólidos em suspensão no runoff (mg/L)

TE = eficiência de retenção de sólidos totais em suspensão. Geralmente adotado $TE = 0,80$

R = razão entre a área da superfície da lagoa e a área total

Exemplo 41.8

Dada uma bacia com 223ha e bacia de infiltração com 0,53ha. A área impermeável é de 26% e a precipitação média anual é de 352mm.

$$R_v = 0,05 + 0,009 \times AI = 0,05 + 0,009 \times 26 = 0,28$$

$$Q = R_v \times P = 0,28 \times 352\text{mm} = 99\text{mm}$$

$$C = 400\text{mg/L}$$

$$TE = 0,80$$

$$R = 0,53 / 223 = 0,0024$$

$$V_p = 1,45 \times 10^{-6} (Q \times C \times TE / R)$$

$$V_p = 1,45 \times 10^{-6} (99\text{mm} \times 400\text{mg/L} \times 0,80 / 0,0024) = 19\text{mm/ano}$$

Portanto, anualmente teremos sedimentos de 19mm/ano.

Caso a bacia de infiltração tenha previsto 305mm para a sedimentação e como a sedimentação é de 19mm teremos:

$$305\text{mm} / 19\text{mm/ano} = 16\text{anos}$$

Então em 16anos deverão ser retirado os materiais inertes no fundo da bacia e colocados em um aterro sanitário.

41.13 Bibliografia e livros consultados

- AKAN, OSMAN e PAINE E JOHN. *Handbook Stormwater collection Systems design handbook*, Larry W. Mays 2001.
- EPA/600/r-04/121b. *Stormwater Best Management Practice Design Guide*. Volume 1, 2 e 3. Setembro de 2004.
- RAMOS, LORET et al. *Campanhas Hidrosedimentométricas na Região Metropolitana de São Paulo*. Centro Tecnológico de Hidráulica da EPUSP.
- SCHUELER, TOM et al. *Urban Stormwater Retrofit practices*. Agosto de 2007. CENTER FOR WATERSHED PROTECTION. Prepared for USEPA, version 1,0. Manual 3.
- TOMAZ, PLINIO. *Poluição Difusa*. Navegar, 2006.