

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**MODELO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE DETENÇÃO PARA
CONTROLE DA POLUIÇÃO DIFUSA DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO MUNICÍPIO DE
PORTO ALEGRE**

Dissertação submetida ao programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Marcelo Kipper da Silva

Orientador: André Luiz Lopes da Silveira

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eloíza Maria Cauduro Dias de Paiva	DHS – UFSM
Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragoso Júnior	IPH – UFRGS
Prof. Dr. Olavo Pedrollo	IPH – UFRGS

Porto Alegre, Dezembro de 2009.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do professor André Luiz Lopes da Silveira.

Este trabalho foi motivado pela busca de conhecimento e aprimoramento profissional e pela constatação de que apesar do nosso país ser rico em recursos hídricos, existe muito a fazer para que estes recursos sejam usados para a melhoria das condições de vida da população.

Gostaria de agradecer a minha esposa Andresa Fernanda e aos meus filhos Pedro Artur e João Henrique, pelos momentos felizes que vivemos, e pela paciência e compreensão que tiveram nos momentos em que tive que deixar de lhes dar atenção para me dedicar a este trabalho.

Aos meus pais Sílvio e Lígia, que sempre incentivaram e deram apoio aos filhos para que realizassem seus estudos como forma de desenvolvimento e progresso para a vida. Aos meus irmãos Márcio, Cristina, Marcos e em especial ao Maurício pela troca de idéias em assuntos técnicos e científicos.

Ao Professor André Silveira pela orientação, pela troca de idéias e pela paciência em relação às minhas dificuldades para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho do DEP, engenheiros Lúcia, Eduardo, Magda, Marcus pelo conhecimento profissional que compartilharam comigo. Em especial gostaria de agradecer à colega Daniela Bemfica que disponibilizou os dados de precipitação usados neste trabalho, que foram fruto de um grande e tedioso esforço de leitura de pluviogramas em papel e digitação em planilhas eletrônicas.

RESUMO

A poluição de origem difusa das águas pluviais é um entre os vários impactos causados pela urbanização. No Brasil ainda não é dada a devida importância para esta forma de poluição, que pode e deveria ser combatida em conjunto com os impactos causados pelo aumento das vazões geradas pela urbanização. As bacias de retenção são usadas para controlar as vazões de pico, mas também podem ser usadas para o controle da qualidade da água através da sedimentação natural dos poluentes. Neste trabalho é desenvolvido um modelo de pré-dimensionamento de bacias de retenção para o controle da poluição difusa no Município de Porto Alegre, baseado em uma metodologia de maximização de captura de volume e em uma metodologia de cálculo da eficiência da remoção de poluentes. No desenvolvimento do modelo foram utilizadas séries históricas de precipitações ocorridas em Porto Alegre. Para aplicação do modelo são necessários dados físicos de fácil obtenção, relativos à bacia de contribuição ao reservatório de retenção, tais como coeficiente de escoamento, taxa de impermeabilização do solo ou densidade habitacional. Os resultados das simulações mostraram que o volume de retenção necessário para o controle da poluição difusa é de 157 m³/ha para um coeficiente de escoamento de 0,6, típico de áreas urbanas, variando de 36 a 225 m³/ha para coeficientes de escoamento de 0,1 e 1,0, respectivamente. O modelo proposto foi comparado com modelos aplicados em locais nos Estados Unidos com características de precipitação semelhantes, resultando em volumes de retenção compatíveis, demonstrando que, pelo menos para Porto Alegre, o critério de semelhança de precipitação implica em volumes muito semelhantes. A incorporação do modelo de pré-dimensionamento para controle da poluição difusa ao modelo atual de dimensionamento para controle de cheias do Município de Porto Alegre pode ser feita através da soma dos volumes calculados por cada um dos modelos, porém isto implica em um aumento médio de 55 % no volume total de retenção. Analisando-se bacias de retenção existentes no Município, projetadas para o controle de cheias, a incorporação de controle da poluição difusa das águas pluviais implicaria em um aumento mínimo de 50 % no volume das mesmas e, em alguns casos, de mais de 100 %.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	2
1.2. OBJETIVO	3
1.3. QUESTÃO DE PESQUISA	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO CICLO HIDROLÓGICO	4
2.2. POLUIÇÃO DIFUSA	5
2.3. MECANISMOS DE REMOÇÃO DOS POLUENTES	7
2.3.1. <i>Mecanismos Biológicos</i>	8
2.3.2. <i>Adsorção</i>	8
2.3.3. <i>Filtração</i>	8
2.3.4. <i>Sedimentação</i>	8
2.4. ESTRUTURAS DE CONTROLE	13
2.4.1. <i>Trincheiras de infiltração</i>	14
2.4.2. <i>Bacias de infiltração</i>	15
2.4.3. <i>Valas de infiltração</i>	16
2.4.4. <i>Bacias de Retenção</i>	17
2.4.5. <i>Bacias de Detenção ou Amortecimento</i>	18
2.5. HIDROLOGIA PARA CONTROLE QUALITATIVO	19
2.6. DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE DETENÇÃO	21
2.6.1. <i>Controle das vazões de pico.</i>	22
2.6.2. <i>Estimativa de volume para controle das vazões de pico.</i>	22
2.6.3. <i>Controle da erosão dos corpos receptores.</i>	27
2.6.4. <i>Controle da qualidade das águas pluviais.</i>	27
2.6.5. <i>Estruturas de entrada e saída das bacias de amortecimento.</i>	32
2.6.6. <i>Estruturas de entrada</i>	32
2.6.7. <i>Estruturas de saída</i>	33
2.6.8. <i>Dimensionamento das estruturas de saída.</i>	34
2.6.9. <i>Aspectos construtivos e manutenção das bacias de amortecimento.</i>	35
2.7. RELAÇÕES ENTRE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO, IMPERMEABILIZAÇÃO E DENSIDADE HABITACIONAL	37
3. METODOLOGIA.	39
3.1. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA.	39
3.2. OBTENÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO.	40
3.3. ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO	40
3.4. DETERMINAÇÃO DO VOLUME MAXIMIZADO DE CONTROLE	40
3.5. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE POLUENTES.	45
3.5.1. <i>Definição das variáveis que descrevem o escoamento superficial.</i>	45
3.5.2. <i>Cálculo da eficiência da remoção dos sólidos em suspensão.</i>	48
4. RESULTADOS	54
4.1. DESCRIÇÃO GERAL DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO	54
4.2. VOLUME MAXIMIZADO PARA O CONTROLE DA POLUIÇÃO DIFUSA	57
4.3. VOLUMES DE CONTROLE BASEADO EM PORCENTAGEM DO VOLUME ANUAL	68
4.4. CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DOS POLUENTES	71
4.5. CÁLCULO DOS CUSTOS UNITÁRIOS E DA RELAÇÃO BENEFÍCIO / CUSTO DAS BACIAS DE DETENÇÃO	73

4.6.	RECOMENDAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DAS BACIAS DE AMORTECIMENTO EM PORTO ALEGRE	76
4.7.	COMPARAÇÃO COM CRITÉRIOS UTILIZADOS EM OUTROS LOCAIS	77
4.8.	ANÁLISE DE BACIAS DE DETENÇÃO EM PORTO ALEGRE	79
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	82
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
7.	ANEXO I.	89
8.	ANEXO II	104
9.	ANEXO III	124
10.	ANEXO IV	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Grau de importância das restrições à implantação das estruturas (adaptado de BAPTISTA et al., 2005).	13
Quadro 2.2: Usos das estruturas (adaptado de BAPTISTA et al., 2005).	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Características das 15 zonas de precipitação dos EUA. (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).....	29
Tabela 2.2: Relação entre densidade habitacional e área impermeável.....	38
Tabela 3.1: Distribuição granulométrica e velocidade de sedimentação (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).....	52
Tabela 4.1: Estatísticas da precipitação no posto do Oitavo Distrito.	56
Tabela 4.2: Frequência dos eventos de precipitação.....	57
Tabela 4.3: Resultados do algoritmo de maximização para C=1.	59
Tabela 4.4: Razão de captura dos pontos de maximização.	60
Tabela 4.5: Volume maximizado em relação ao coeficiente de escoamento.....	61
Tabela 4.6: Volume maximizado para diferentes períodos de tempo.....	65
Tabela 4.7: Razão entre médias da série completa e das sub-séries.	67
Tabela 4.8: volumes de captura em relação ao coeficiente de escoamento.	69
Tabela 4.9: Eficiência na remoção de poluentes pelo critério de 2 % da área impermeável. ..	71
Tabela 4.10: Eficiência na remoção de poluentes pelo critério de 1 metro de profundidade. .	72
Tabela 4.11: Custo unitário das bacias pelo critério de 2 % da área impermeável (R\$/m ³). ...	74
Tabela 4.12: Custo unitário das bacias pelo critério de 1 metro de profundidade (R\$/m ³).	74
Tabela 4.13: Relação remoção/custo pelo critério de 2 % da área impermeável.	75
Tabela 4.14: Relação remoção/custo pelo critério de 1 metro de profundidade.	75
Tabela 4.15: Comparação de volumes de detenção para controle de cheias e da qualidade em Porto Alegre.	77
Tabela 4.16: Locais e volume necessários de amortecimento.....	78
Tabela 4.17: Características de algumas bacias de detenção em Porto Alegre e os volumes de controle da poluição difusa.	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Distribuições granulométricas (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).	11
Figura 2.2 - Distribuições granulométricas das amostras coletadas em 23/12/2005 (adaptado de DOTTO 2006).	11
Figura 2.3 – Trincheira de infiltração experimental (SOUZA, 2002).	15
Figura 2.4 – Bacia de infiltração esquematizada (adaptado de CASQA, 2003).	16
Figura 2.5 – Vala da infiltração (JEFFERIES, 2002).	17
Figura 2.6 – Bacia de retenção em Porto Alegre (arquivo pessoal).	18
Figura 2.7 – Bacia de detenção em Porto Alegre (arquivo pessoal).	19
Figura 2.8 - Relação de Volume a armazenar/Volume de escoamento e Vazão de pico de saída/Vazão de pico de entrada. (adaptado de NRCS, 1986).	24
Figura 2.9 - Aplicação do método de Baker para cálculo do volume de uma bacia de detenção. (adaptado de M _C CUEN, 1989).	25
Figura 2.10 - Divisão dos EUA em zonas de precipitação (DRISCOLL et al., 1986).	28
Figura 2.11 - Volume de detenção para controle da poluição difusa na cidade de Knoxville (adaptado de KNOXVILLE, 2006).	31
Figura 2.12 - Detalhes de estruturas de entrada, típicos de bacias de detenção. (JEFFERIES, 2004).	33
Figura 2.13 - Orifícios múltiplos e instalação em poço de visita (JEFFERIES, 2004).	34
Figura 2.14 - Vista de em planta de uma bacia de amortecimento (adaptado de UDFCD, 2002).	35
Figura 3.1 - Maximização do volume de controle (adaptado de GUO e URBONAS, 1996). ..	41
Figura 3.2 - Fluxograma do algoritmo para obtenção do volume maximizado.	44
Figura 3.3 - Definição das variáveis relativas ao escoamento superficial (adaptado de DI TORO e SMALLL, 1979).	46
Figura 3.4 - Efeito de precipitações antecedentes sobre o desempenho de longo prazo sob condições estáticas (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).	50
Figura 3.5 - Desempenho médio de longo prazo de uma bacia de detenção sob condições estáticas (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).	51
Figura 4.1 - Curva de dupla massa de precipitação.	54
Figura 4.2 - Histograma dos eventos de precipitação.	56
Figura 4.3 - Cálculo do volume maximizado para C=1.	60
Figura 4.4 - Comparação dos métodos de determinação do ponto de maximização.	61

Figura 4.5 - Volume maximizado em relação ao coeficiente de escoamento	62
Figura 4.6 - Volume maximizado em relação a impermeabilização.	63
Figura 4.7 - Volume maximizado em relação a densidade habitacional.	64
Figura 4.8 - Volumes maximizados para diferentes durações de séries – C=0,5.....	66
Figura 4.9 - Volumes maximizados em relação ao maior evento considerado – C=0,5.....	66
Figura 4.10 – Fator de correção para períodos entre 35 e 284 meses.	68
Figura 4.11 - Volumes de captura em relação ao coeficiente de escoamento.....	70

LISTA DE SIMBOLOS

a	parâmetro da Equação IDF
A_B	área da bacia de detenção
A_C	área de contribuição
A_I	área impermeável
$AIMP$	percentagem de área impermeável
b	parâmetro da Equação IDF
c	parâmetro da Equação IDF
C	coeficiente de escoamento
C_D	coeficiente de arrasto
D_p	duração média da precipitação
D_R	duração média de escoamento superficial
d_p	diâmetro da partícula
d	densidade habitacional
d_R	duração do evento de escoamento superficial
g	aceleração da gravidade
I	coeficiente de impermeabilização do solo
I_p	intensidade média da precipitação
n	coeficiente de desempenho da sedimentação
N	número de eventos de precipitação
N_{to}	número de eventos de precipitação não capturados
P_c	volume máximo que pode ser capturado
P_{ef}	precipitação efetiva
P_M	volume do maior evento de precipitação
P_P	volume da bacia de detenção em mm por unidade de área contribuinte
P_r	volume de escoamento em mm
P_t	precipitação sobre área de contribuição
P_{tr}	volume acumulado capturado
P_{to}	volume acumulado não capturado
P_i	perdas iniciais
q_i	vazão de pico de entrada
q_o	vazão de pico de saída

q_{pre}	vazão de pico de pré-urbanização
q_{pos}	vazão de pico de pós-urbanização
q_R	vazão do evento de escoamento superficial
q_s	vazão média de saída na bacia de detenção
Q	vazão
Q_R	vazão média de escoamento superficial
r_p	densidade da partícula
r_v	densidade do fluido
R^2	coeficiente de ajuste de Nash
Re	número de Reynolds
R_d	fração de sólidos em suspensão removidos
R_{DM}	eficiência média estática de remoção de sólidos em suspensão
R_{DLM}	eficiência média combinada de remoção de sólidos em suspensão
R_L	remoção dinâmica de sólidos em longo prazo
R_{LM}	eficiência média dinâmica de remoção de sólidos em suspensão
R_n	razão de captura de eventos
R_v	razão de captura de volume
$t_{cpós}$	tempo de concentração de pós-urbanização
Tr	período de retorno
T_e	tempo de esvaziamento
T_d	duração de um evento de precipitação
v_R	volume do evento de escoamento superficial
V	volume maximizado de captura
V_{80}	volume de armazenamento para capturar 80 % do volume anual
V_{85}	volume de armazenamento para capturar 85 % do volume anual
V_{90}	volume de armazenamento para capturar 90 % do volume anual
V_B	volume da bacia de detenção em m^3
V_r	volume de escoamento superficial em m^3
V_p	volume médio de precipitação
V_R	volume médio de escoamento superficial
V_s	velocidade de sedimentação
y	quantidade de partículas removidas
y_o	quantidade inicial de partículas
Z	fração máxima removida de sólidos a taxas de aplicação muito baixas

δ_R	intervalo de tempo entre eventos de escoamento superficial
Δ_p	intervalo médio de tempo entre eventos de precipitação
Δ_R	intervalo médio de tempo entre eventos de escoamento superficial
μ	viscosidade dinâmica

1. INTRODUÇÃO

No início do século 20, a maioria da população brasileira residia no meio rural. No entanto, a partir da metade do século, teve início uma grande migração da população do meio rural para o meio urbano. A urbanização não planejada gera sérios impactos sobre a drenagem de uma cidade. Ela faz com que sejam impermeabilizadas grandes porções do solo promovendo aumento da vazão de pico dos hidrogramas e a antecipação, no tempo, desse pico. Isto se deve a um aumento do coeficiente de escoamento e à redução do tempo de concentração, causados principalmente pelo aumento da velocidade de escoamento nas superfícies e nas canalizações das águas pluviais (TUCCI, 1995).

Para controlar os efeitos da urbanização sobre o aumento do escoamento, em muitos locais nos EUA foram construídas bacias de retenção (ex. CHANEY, 1982). Estas obras tinham como enfoque principal a redução dos custos totais, pois em muitos casos, era mais barato construir tais bacias do que ampliar a capacidade de escoamento das redes existentes.

Juntamente com os problemas decorrentes da alteração das características hidrológicas das bacias causadas pela urbanização, existem problemas relacionados à qualidade das águas urbanas. Pesquisas mostraram que parte da poluição gerada em áreas urbanas se origina do escoamento superficial sobre áreas impermeáveis, áreas em fase de construção, depósitos de lixo ou de resíduos industriais, etc (PORTO, 1995).

A partir do surgimento da preocupação com a poluição difusa em meados dos anos 80, o controle da qualidade das águas pluviais passou a fazer parte dos critérios adotados no projeto e gerenciamento das obras. Atualmente as autoridades responsáveis pelo gerenciamento e aprovação dos projetos de urbanização em alguns países desenvolvidos exigem um controle integrado tanto dos aspectos quantitativos quanto qualitativos (AMEC, 2001; MARYLAND, 2000). Em muitos casos bacias de amortecimento inicialmente projetadas para o controle unicamente quantitativo, foram adaptadas para que pudessem também agir sobre a qualidade das águas.

1.1. JUSTIFICATIVA

No Brasil ainda persiste a mentalidade de controlar as cheias urbanas devido à urbanização através da canalização dos trechos críticos (TUCCI, 1995). Este método parte de uma visão localizada dos problemas de drenagem, que com o passar do tempo tende a apenas transferir os problemas de um local para outro dentro da bacia.

Em algumas grandes cidades brasileiras existem problemas crônicos de alagamentos. Nestas cidades, os órgãos responsáveis pela drenagem começam a adotar medidas visando mudar esta forma de agir em relação aos problemas. O Município de Porto Alegre, através do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP), iniciou a implantação de bacias de amortecimento para o controle de alagamentos. Os novos empreendimentos imobiliários que serão construídos também devem implantar medidas visando a redução do aumento do escoamento provocado pela urbanização. Segundo TOMAZ (2002) os municípios de Guarulhos através da Lei 5.617 e São Paulo através da Lei 13.276 já possuem leis que regulamentam a implantação de reservatórios de retenção de águas pluviais. Porto Alegre também possui legislação a respeito do controle do impacto da urbanização (Decreto 15371/06).

Como foi mencionado anteriormente, em países desenvolvidos inicialmente as obras de retenção foram concebidas para o controle quantitativo dos escoamentos e posteriormente foi incluído o controle qualitativo. Isto ocorreu devido a um desconhecimento inicial da magnitude dos problemas decorrentes da poluição difusa. Os dois tipos de controle não são conflitantes, mas sim complementares, desde que sejam considerados corretamente os princípios de dimensionamento e os detalhes construtivos para que as estruturas se comportem conforme esperado.

As obras realizadas aqui no Brasil poderiam, desde já, incluir critérios de dimensionamento para controle da qualidade das águas pluviais, pois já se conhecem os problemas decorrentes da poluição difusa.

Para que seja possível a adoção de critérios de controle de qualidade nas obras de bacias de amortecimento é necessária a realização de estudos hidrológicos específicos para este fim, que são bastante diferentes daqueles usados para o controle quantitativo. Atualmente não existem parâmetros resultantes de estudos específicos para o nosso país.

1.2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo de pré-dimensionamento de bacias de retenção para o controle da poluição difusa no Município de Porto Alegre, combinando um método de maximização de captura de volume com um método de análise de eficiência da remoção de sólidos em suspensão.

Os objetivos específicos são:

- Determinar através de uma análise de benefício/custo qual é a melhor percentagem de captura de volume;
- Verificar se os volumes de retenção obtidos com a aplicação do modelo são compatíveis com volumes obtidos com modelos utilizadas em locais cuja precipitação apresenta características semelhantes;
- Propor um modelo integrado de pré-dimensionamento de bacias de retenção para controle quantitativo e qualitativo baseado no modelo atualmente utilizado no em Porto Alegre para controle de cheias e no modelo para controle da poluição difusa;
- Verificar se bacias de amortecimento existentes em Porto Alegre, projetadas para controle de cheias, poderiam ser modificadas visando o controle da poluição difusa;

1.3. QUESTÃO DE PESQUISA

É possível obter um modelo simplificado para pré-dimensionamento de bacias de retenção, visando o controle da poluição difusa, com base em modelos que utilizem apenas séries históricas de precipitação e parâmetros físicos de fácil obtenção?

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NO CICLO HIDROLÓGICO

Segundo dados do IBGE (IBGE, 2009), em 1950 aproximadamente 30% da população brasileira residia em meio urbano e no ano 2000 aproximadamente 80% da população residia nas cidades. Associado a esta migração, existe uma grande concentração de pessoas em poucas cidades do Brasil, principalmente nas grandes regiões metropolitanas. Como exemplo pode-se citar a população de Porto Alegre que em 1940 era de aproximadamente 270.000 pessoas e no ano de 2000 era de 1.360.000. Isto causou uma grande densificação demográfica nestas regiões. Dados do IBGE mostram que no ano 2000, a densidade demográfica em São Paulo era de 148,96 hab/km².

A urbanização não planejada gera sérios impactos sobre a drenagem de uma cidade. Ela faz com que sejam impermeabilizadas grandes porções do solo. A construção de edificações e a pavimentação de ruas, passeios e pátios são alguns exemplos de obras que geram grande impermeabilização. Antes da impermeabilização, o escoamento superficial ocorria mais lentamente, e uma porção considerável infiltrava, era interceptado ou sofria evapotranspiração.

A impermeabilização causa mudanças drásticas nos hidrogramas de regiões densamente urbanizadas. Através de estudos em bacias urbanas é possível correlacionar a impermeabilização com o coeficiente de escoamento (C) ou *runoff*.

Com a impermeabilização ocorre um grande aumento da vazão de pico do hidrograma e ocorre a antecipação, no tempo, desse valor de pico. Isto se deve a um aumento do coeficiente de escoamento causado pela impermeabilização do solo e pela redução do tempo de concentração causado principalmente pelo aumento da velocidade de escoamento nas superfícies e pela canalização das águas pluviais. Segundo SILVEIRA (2000), há um potencial de aumento de escoamento com a urbanização de 6 a 7 vezes.

Além do aumento das vazões de pico, a impermeabilização faz com que aumente a frequência e a duração das vazões de pico, tendo como consequência impactos geomorfológicos sobre os cursos d'água. Estudos mostram que a calha principal dos canais

naturais tem uma forma que pode escoar vazões com 1,5 a 2 anos de período de retorno. Com o aumento da frequência das vazões que ocorriam em média a cada 1,5 a 2 anos os canais sofrem erosão aumentando a largura da sua calha, num processo contínuo.

2.2. POLUIÇÃO DIFUSA

Juntamente com os problemas decorrentes da alteração das características hidrológicas das bacias causadas pela urbanização, existem problemas relacionados à qualidade das águas urbanas. Há bastante tempo se sabe que a urbanização gera poluição das águas que pode ser facilmente identificada nos esgotos domésticos e industriais que são lançados em cursos d'água. Em países desenvolvidos, a poluição gerada pelos esgotos domésticos e industriais passou a receber tratamento adequado. No entanto pesquisas recentes mostraram que parte da poluição gerada em áreas urbanas não é exclusivamente proveniente das fontes acima mencionadas. Outra fonte de poluição se dá a partir da lavagem provocada pelo escoamento superficial sobre áreas impermeáveis, áreas em fase de construção, depósitos de lixo ou de resíduos industriais, etc (PORTO, 1995). Este tipo de poluição passou a ser chamado de difusa, pois, ao contrário dos esgotos domésticos e industriais, a sua geração e lançamento em corpos d'água não são pontuais.

Durante os anos de 1981 e 1982 a agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (US EPA) realizou um programa chamado de NURP (*National Urban Runoff Program*) que analisou e sintetizou dados de qualidade de águas pluviais e foi publicado em 1983. O relatório final continha dados de 81 locais situados em 22 diferentes cidades. Mais de 2.300 eventos de chuva foram analisados, porém nem todos os poluentes foram medidos em todos os locais. Os poluentes medidos foram TSS (sólidos totais), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), TP (fósforo total), SP (fósforo solúvel), TKN (nitrogênio kjeldahl), NO_{2+3} (nitrogênio), Cu (cobre), Pb (chumbo), Zn (zinco). Na maior parte dos casos foi coletada uma amostra para caracterizar a concentração média do poluente durante o evento (EMC), mas, em algumas cidades algumas amostras discretas foram tomadas ao longo dos eventos para caracterizar a variação da concentração ao longo dos mesmos (EPA, 2002). As principais conclusões do programa foram as seguintes:

- a distribuição estatística das EMC em cada local seguia uma curva log-normal;
- a mediana das EMCs de todos os locais também seguia uma curva log-normal;

- em 90 % dos casos, a EMC de TSS variou em um intervalo de 3 a 5 vezes o valor da mediana daquele local;
- para os outros poluentes medidos, em 90 % dos casos a EMC variou entre 2 a três 3 o valor da mediana;
- embora em algumas cidades foram encontrados valores de EMC maiores ou menores que a media nacional para um ou mais poluentes, não foram encontrados padrões regionais;
- o tipo de uso do solo (residencial, misto, comercial, industrial e não urbano) não causou uma alteração estatisticamente significativa para as EMCs.
- não foi encontrada correlação entre EMCs e volumes de escoamento superficial, indicando independência entre ambos;
- o coeficiente de escoamento superficial apresentou uma correlação logarítmica com a área impermeável das bacias.

A poluição difusa pode ser caracterizada pelas seguintes condições (NOVOTNY apud PORTO, 1995):

- o lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionada à precipitação;
- os poluentes são transportados a partir de extensas áreas;
- as cargas poluentes não podem ser monitoradas a partir de seu ponto de origem, mesmo porque não é possível identificar exatamente sua origem;
- o controle da poluição de origem difusa, obrigatoriamente, deve incluir ações sobre a área geradora da poluição, ao invés de incluir apenas o controle do efluente quando do lançamento;
- é difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia de acordo com a intensidade e a duração do evento meteorológico, e a extensão da área de produção naquele evento específico, que com outros fatores, tornam a correlação vazão x carga poluidora praticamente impossível de ser estabelecida.

Segundo CASQA (2003), sedimentos são os principais componentes dos sólidos suspensos totais encontrados em águas pluviais. Eles podem ser nocivos para os organismos aquáticos (produtores primários, bentos e peixes) pela interferência que têm na fotossíntese,

respiração, crescimento, reprodução e oxigênio em corpos d'água. Além disso, outros poluentes, como nutrientes, metais e hidrocarbonetos podem estar associados aos sedimentos.

Óleos e graxas representam uma grande variedade de hidrocarbonetos, alguns dos quais são tóxicos para organismos aquáticos mesmo que encontrados em baixas concentrações. Estes são provenientes de vazamentos de máquinas hidráulicas, motores e suspensões de veículos e outras atividades, incluindo restaurantes.

O lixo pode conter metais pesados, pesticidas, bactérias e substâncias orgânicas, que são nocivas ao meio ambiente. O lixo é proveniente de restos de vegetação, restos de animais, calça de obras e resíduos industriais, além do lixo doméstico.

Um fato conhecido desde o início do século 20 é que em determinadas circunstâncias a concentração de sedimentos e outros poluentes é maior nos momentos iniciais do escoamento superficial (METCALF e EDDY apud SANSALONE e CRISTINA, 2004). Este fenômeno passou a ser conhecido como carga de lavagem (*first flush*).

Existem diversas definições e maneiras de identificar a ocorrência ou não de carga de lavagem. Segundo SANSALONE e CRISTINA (2004), a carga de lavagem pode ser definida como uma desproporcional concentração de poluentes durante a fase de subida do hidrograma ou dos primeiros momentos do escoamento. Outra definição é baseada em uma desproporcional massa de poluentes nos momentos iniciais do escoamento ou subida do hidrograma.

Embora diversos estudos tenham constatado a ocorrência de carga de lavagem, nem todos os eventos de precipitação em uma determinada bacia hidrográfica geram este fenômeno, e em grandes bacias urbanas pode ser difícil de ser detectado (GUPTA e SAUL, 1996).

2.3. MECANISMOS DE REMOÇÃO DOS POLUENTES

Existem vários mecanismos que permitem a remoção dos poluentes contidos nas águas pluviais. Segundo EPA (2002), alguns destes mecanismos são: biodegradação, bioassimilação, fitoremediação, fitovolatização, adsorção, filtração e sedimentação, etc.

2.3.1. Mecanismos Biológicos

A bioassimilação ocorre quando organismos produtores primários assimilam os nutrientes que são encontrados nas águas. A fitoremediação é o processo no qual vegetais degradam poluentes através dos seus processos metabólicos. Nestes processos os vegetais degradam, seqüestram e estabilizam substâncias orgânicas e metais. A fitovolatização é a capacidade que certas plantas tem de volatilizar substâncias orgânicas tais como solventes que estão presentes nas águas e nos solos. A biodegradação é o processo de decomposição de substâncias através dos processos fisiológicos de microorganismos, podendo ser aeróbica, quando ocorre o consumo de oxigênio ou anaeróbica, sem a presença deste gás.

2.3.2. Adsorção

A adsorção é a adesão de moléculas contidas em um fluido a uma superfície sólida. A adsorção pode ser química, quando ocorre a formação de ligações químicas entre as moléculas do fluido e a superfície adsorvente, ou física, quando isto não ocorre. A capacidade de adsorção pode ser utilizada em filtros para a remoção de poluentes.

2.3.3. Filtração

Os processos de filtração têm a capacidade de remover partículas em suspensão e outros poluentes quando a água contaminada passa por um sistema filtrante. Os filtros podem, tipicamente, remover partículas e poluentes associados tais como, carbono orgânico, fósforo e metais.

2.3.4. Sedimentação

A sedimentação ocorre quando partículas em suspensão possuem uma densidade maior do que a do líquido em que estão contidas. O processo de sedimentação é influenciado pela distribuição granulométrica das partículas, pela densidade do material que forma as partículas, pela turbulência do líquido, pela presença de caminhos que reduzem o tempo de permanência teórico da água nas estruturas (curto-circuito), etc.

Estudos feitos em laboratório com colunas de sedimentação mostram que o tamanho da menor partícula que pode sedimentar é da ordem de dez micrômetros (URBONAS e STAHRÉ, 1993). As partículas muito pequenas muitas vezes possuem cargas elétricas que interferem no processo de sedimentação. Para partículas consideradas discretas, ou seja, aquelas que não alteram a sua forma, tamanho ou peso durante o processo de sedimentação, a velocidade de sedimentação pode ser calculada pela fórmula de Newton (Equação 2.1).

$$V_s = \sqrt{\frac{4 * d_p * g * (r_p - r_v)}{3 * C_D * r_v}} \quad (2.1)$$

Onde V_s é velocidade de sedimentação,

d_p é diâmetro da partícula,

r_p é densidade da partícula,

r_v é densidade do fluido,

g é aceleração da gravidade e

C_D é coeficiente de arraste da partícula.

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34 \quad (0,3 < Re < 10.000) \quad (2.2)$$

$$C_D = \frac{24}{Re} \quad (Re < 0,3) \quad (2.3)$$

$$V_s = d^2 * g * \frac{(r_p - r_v)}{18 * \mu} \quad (2.4)$$

O coeficiente C_D depende do escoamento ao redor da partícula e pode ser estimado através do Número de Reynolds (Re). Para valores de Re entre 0,3 e 10.000 (fluxo turbulento), C_D é dado pela Equação 2.2 e para valores inferiores a 0,3 (fluxo laminar) é dado pela Equação 2.3 (VIANNA, 1997). Neste último caso a Equação 2.1 pode ser combinada com a Equação 2.3 dando origem à fórmula de Stokes, onde μ é a viscosidade dinâmica do fluido (Equação 2.4). O coeficiente μ depende da temperatura, portanto, segundo a Lei de Stokes a velocidade de sedimentação também depende deste fator.

Para que uma partícula seja permanentemente removida da coluna d'água, é necessário que ela atinja o fundo da bacia de detenção antes da água que a carrega atingir a saída da bacia. Para uma partícula percorrer toda a altura da lâmina d'água e chegar até o fundo da bacia ela precisa ter uma velocidade igual ou maior a:

$$\frac{Q}{A_B} \quad (2.5)$$

Onde: A_B é área da bacia de detenção,

Q é a vazão que passa pela bacia de detenção.

A razão entre vazão e área da bacia de detenção é conhecida como taxa de aplicação superficial e deve ser igual ou inferior à velocidade de sedimentação da partícula que se quer remover. Esta relação mostra que, teoricamente, a profundidade da bacia de detenção não afeta a sedimentação. Isto ocorre porque se de um lado a redução da profundidade aumenta a velocidade de escoamento da partícula, reduzindo o seu tempo de percurso desde a entrada até a saída da bacia, por outro lado, o seu tempo de percurso entre a superfície e o fundo da bacia também será menor.

É necessário o conhecimento da distribuição granulométrica do material em suspensão para o dimensionamento das estruturas onde será feita a sedimentação. Como foi visto anteriormente, a taxa de aplicação superficial determina o tamanho da menor partícula que pode sedimentar. Se o material em suspensão for composto por partículas muito pequenas, será necessária uma menor taxa de aplicação superficial, o que implica em uma área superficial maior para a bacia de sedimentação, ou uma vazão menor através da mesma. Além disso, é mais fácil determinar a distribuição granulométrica do que a medição direta das velocidades de sedimentação das partículas em uma determinada amostra de água.

Segundo URBONAS e STAHRÉ (1993) estudos mostram que elevadas concentrações iniciais de sólidos em suspensão levam a uma maior redução percentual destes através de sedimentação. De acordo com PITT (2002) altas concentrações iniciais de sólidos em suspensão estão associadas a maiores quantidades de partículas de maiores dimensões.

A Figura 2.1 mostra diversas distribuições granulométricas dos sólidos em suspensão em águas pluviais encontradas em diversos locais dos Estados Unidos (NURP, Meio Oeste) e Canadá (Alto, Médio e Baixo). Em um estudo realizado por DOTTO (2006), na cidade de

Santa Maria, foram encontradas concentrações entre 8,0 e 6.0000 mg/l em sedimentos proveniente da microdrenagem de uma rua. Foram encontrados nestes sedimentos diâmetros médios entre 0,01 e 12 mm. Na Figura 2.2 são apresentadas as curvas granulométricas de amostras coletadas por DOTTO (2006) no dia 23 de dezembro de 2005. A citada amostra de DOTTO (2006) apresenta semelhanças com as distribuições médias dos Estados Unidos.

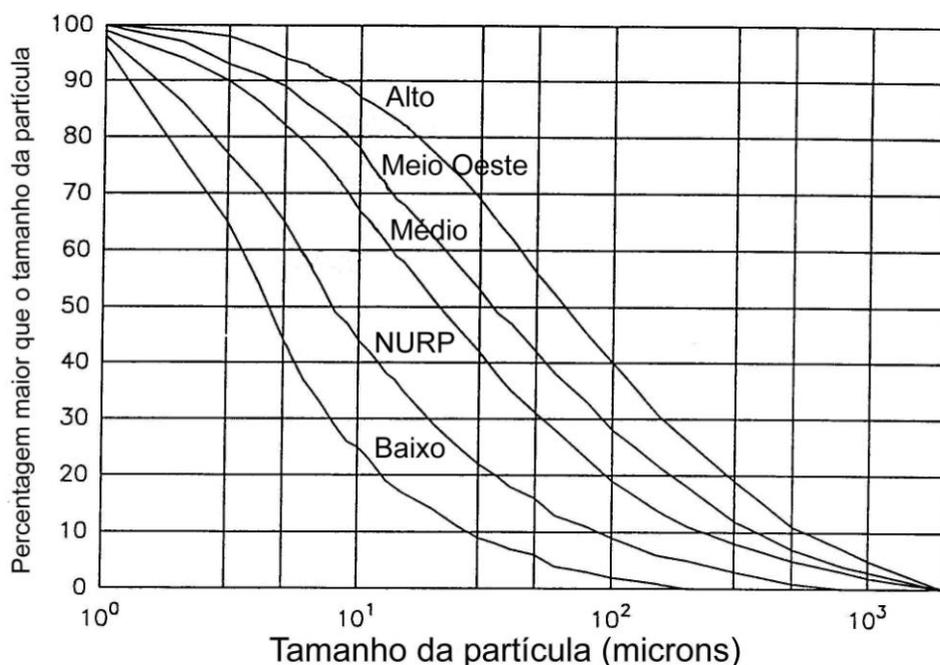


Figura 2.1 - Distribuições granulométricas (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).

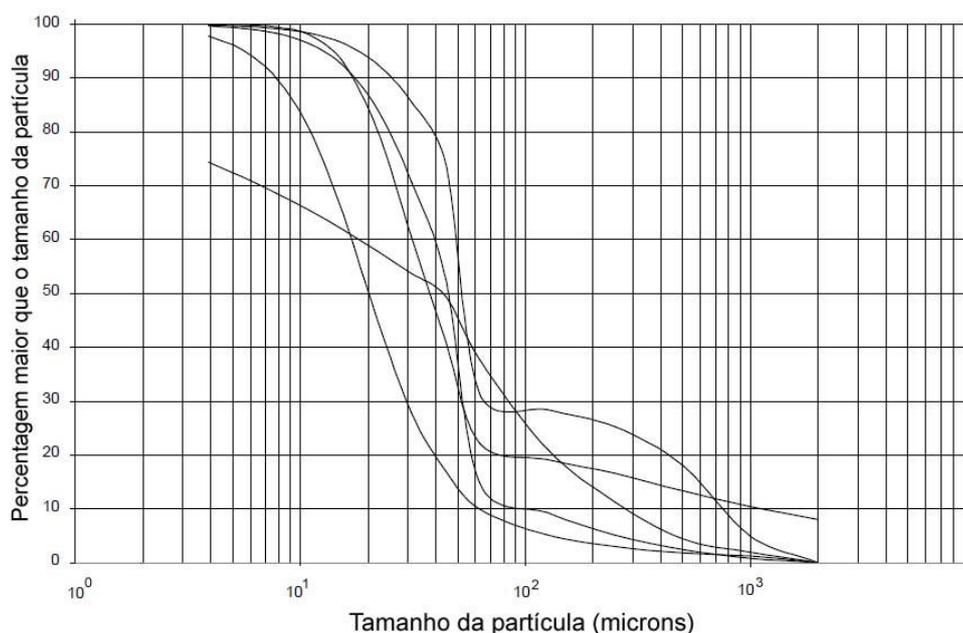


Figura 2.2 - Distribuições granulométricas das amostras coletadas em 23/12/2005 (adaptado de DOTTO, 2006).

Uma bacia de sedimentação real possui uma eficiência menor do que a de uma bacia ideal. A diminuição da eficiência faz com que partículas que seriam removidas em condições ideais, na prática não sejam. A eficiência é afetada por diversas correntes de líquido que se formam dentro da bacia, entre as quais se pode citar (VIANNA, 1997):

- Correntes turbulentas, criadas pela inércia do líquido afluyente;
- Correntes superficiais, produzidas pelo vento;
- Correntes verticais de convecção, de origem térmica;
- Correntes devido à densidade, que fazem com que a água fria (mais densa) escoe pelo fundo da bacia, e que a água quente (menos densa) escoe através de sua superfície. As correntezas desse tipo produzem curto-circuitos no fluxo.

Através da Equação 2.6 é possível calcular a eficiência de uma bacia real em função de um fator que representa o número de curto-circuitos.

$$\frac{y}{y_o} = 1 - \left[1 + \frac{V_s}{n * \left(\frac{Q}{A_B} \right)} \right]^{-n} \quad (2.6)$$

Onde y_o = quantidade inicial de sólidos que têm velocidade de sedimentação V_s ;

y = quantidade de partículas removidas;

n = fator que representa os curto-circuitos ou desempenho da sedimentação.

Um fator n igual a 1 representa uma performance muito ruim, 3 uma boa performance e 8 muito boa. Em uma bacia ideal a eficiência da remoção para uma partícula com velocidade igual à taxa de aplicação superficial é de 100%, enquanto que em uma bacia real, mesmo com o melhor desempenho possível, que corresponde a $n = \infty$, a eficiência é de 65%.

A sedimentação é um processo de tratamento que visa a remoção de partículas sólidas em suspensão na água. Quanto maior for o tempo em que a água permanece dentro da estrutura de tratamento maior é a remoção dos sólidos. Estudos de campo em diversos países, realizados em estruturas de controle qualitativo e quantitativo também demonstraram a

eficiência da sedimentação para a remoção de outros poluentes além dos sólidos em suspensão (JEFFERIES, 2004; BALL, 2002). Estudos de sedimentação feitos em laboratório com águas provenientes de ambientes urbanos concluíram que além da remoção de sólidos, a sedimentação também propiciou uma remoção de poluentes como: hidrocarbonetos, DBO⁵, fósforo, chumbo, cobre, níquel e zinco (WHIPPLE e HUNTER, 1981).

2.4. ESTRUTURAS DE CONTROLE

Para a remoção dos poluentes contidos nas águas pluviais existe uma série de tipos de tratamentos possíveis. Estes tratamentos são executados em estruturas especiais. O uso de uma ou outra estrutura está condicionado a restrições relativas à topografia, ao solo, ao subsolo e aos objetivos que se pretende atingir com o seu uso. Nos Quadros 2.1 e 2.2 estão contidas as principais restrições e objetivos das estruturas. Estes quadros resumem a experiência americana e européia no uso destas soluções.

Quadro 2.1: Grau de importância das restrições à implantação das estruturas (adaptado de BAPTISTA et al., 2005).

Restrições à implantação e operação das estruturas					
Tipo estrutura	Permeabilidade do solo	Declividade do terreno	Proximidade do lençol freático	Proximidade de leito de rocha	Aporte de sedimentos
Bacia detenção / retenção	Pequena	Pequena	Pequena	Média	Média
Bacia de infiltração	Grande	Pequena	Grande	Grande	Grande
Valas de infiltração	Grande	Grande	Grande	Grande	Grande
Trincheira de infiltração	Grande	Grande	Grande	Grande	Pequena

Quadro 2.2: Usos das estruturas (adaptado de BAPTISTA et al., 2005).

Vocação e possibilidades de uso					
Tipo estrutura	Controle de vazões de pico	Controle de volumes	Recarga do lençol freático	Reuso direto das águas	Controle erosão a jusante
Bacia detenção / retenção	Bem adaptada	Pouco adaptada	Pouco adaptada	Pode ser adaptada	Pode ser adaptada
Bacia de infiltração	Bem adaptada Tr < 30 anos	Bem adaptada	Bem adaptada	Pode ser adaptada	Bem adaptada
Valas de infiltração	Pouco adaptada	Bem adaptada	Bem adaptada	Pouco adaptada	Pode ser adaptada
Trincheira de infiltração	Pouco adaptada	Bem adaptada	Bem adaptada	Pouco adaptada	Pode ser adaptada

A seguir são descritos algumas estruturas utilizadas para o controle quantitativo e qualitativo das águas pluviais segundo CASQA (2003).

2.4.1. Trincheiras de infiltração

Trincheiras de infiltração são estruturas formadas por longas e estreitas valas, escavadas no solo e preenchidas com brita. Estas recebem as águas que ficam armazenadas nos vazios entre as pedras, e infiltram para o solo, não possuindo tubos ou outras formas de escoar as águas para fora da trincheira.

As trincheiras possuem a capacidade de remoção dos seguintes poluentes: sedimentos, nutrientes, lixo, metais, bactérias, óleos e graxas e substâncias orgânicas. A capacidade de remoção é alta para todos estes poluentes. Os principais mecanismos que agem na remoção destes poluentes são a adsorção e a filtração.

Com o uso destas estruturas é possível obter-se uma grande capacidade de infiltração que pode chegar próximo daquela de pré-desenvolvimento para uma área urbanizada. Pode ainda ser usada para controle de cheias de até dois anos de período de retorno. Em um estudo

realizado em Porto Alegre, envolvendo o uso de duas trincheiras experimentais, verificou-se que estas controlaram 100 % do volume de escoamento superficial durante o período de monitoramento (33 e 6 meses), mesmo em eventos com período de retorno superior ao de dimensionamento (SOUZA, 2002). A Figura 2.3 demonstra uma das trincheiras experimentais logo após a sua construção.



Figura 2.3 – Trincheira de infiltração experimental (SOUZA, 2002).

2.4.2. Bacias de infiltração

Bacias de infiltração são estruturas formadas por áreas baixas que recebem e infiltram as águas pluviais. A infiltração ocorre em uma superfície que é formada pelo solo natural do local em que se encontra. Portanto, para sua aplicação, é necessário que o solo tenha boa capacidade de infiltração.

Os principais mecanismos que agem na remoção dos poluentes são a adsorção e a filtração. Assim como as trincheiras de infiltração, com o uso das bacias de infiltração é possível obter-se uma grande capacidade de infiltração que pode chegar próximo daquela de pré-desenvolvimento para uma área urbanizada. A Figura 2.4 apresenta uma representação esquematizada de uma bacia de infiltração.

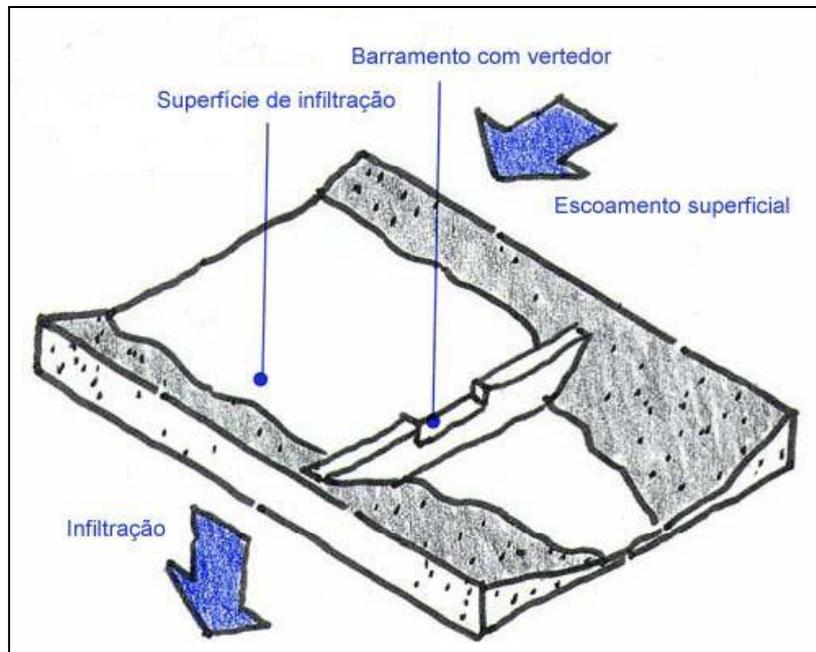


Figura 2.4 – Bacia de infiltração esquematizada (adaptado de CASQA, 2003).

2.4.3. Valas de infiltração

As valas de infiltração (*Vegetated Swale*) são longos e estreitos canais de drenagem, cujos taludes laterais e o fundo são cobertos por vegetação, que conduzem lentamente as águas superficiais até o seu ponto de lançamento. Elas permitem múltiplos benefícios, pois capturam poluentes, promovem a infiltração para as camadas superficiais e profundas do solo e diminuem a velocidade do escoamento superficial.

Estas estruturas possuem a vantagem de ter um bom aspecto visual (estético), são alternativas de baixo custo para urbanização e drenagem de rodovias. A Figura 2.5 ilustra a aplicação de uma vala de infiltração ao longo de um trecho de rodovia na Escócia. Os principais mecanismos que agem na remoção dos poluentes são a adsorção e a filtração.



Figura 2.5 – Vala da infiltração (JEFFERIES, 2002).

2.4.4. Bacias de Retenção

Bacias de retenção são bacias artificiais que possuem no seu fundo, um nível permanente de água ao longo do ano. Nelas, o tratamento recebido pelas águas ocorre através da sedimentação e também por processos biológicos. Acima do nível permanente para controle de poluentes, a bacia possui volumes que são usados para o controle de erosão de canais, que tem período de retorno típico de 2 anos, e para controle de alagamentos, com período de retorno variáveis. Estes valores de período de retorno podem variar de 5 a 100 anos dependendo da autoridade regulatória da região.

Com um bom projeto, construção e manutenção, elas podem ter um bom aspecto estético, servindo para atividades recreacionais e como habitat para a vida selvagem. A Figura 2.6 é uma fotografia da bacia de retenção do Parque Marinha do Brasil, em Porto Alegre. Pode-se visualizar que ela integra-se bem ao parque, sendo inclusive habitada por aves silvestres.

As bacias de retenção possuem a capacidade de remoção dos seguintes poluentes: sedimentos, nutrientes, lixo, metais, bactérias, óleos e graxas e substâncias orgânicas. A capacidade de remoção é alta para a maioria dos poluentes, exceto nutrientes, a qual é média.

Os principais mecanismos que agem na remoção destes poluentes são a sedimentação e os mecanismos biológicos.

Estas bacias tem a capacidade de remover de 70 a 90 % dos sólidos em suspensão, 70 % do DBO⁵, 60 a 70 % dos nutrientes, 60 a 95 % de metais pesados e 50 % das bactérias (PITT, 2002).



Figura 2.6 – Bacia de retenção em Porto Alegre (arquivo pessoal).

2.4.5. Bacias de Detenção ou Amortecimento

Bacias de detenção são bacias artificiais que têm como objetivo manter armazenado um volume de água por um determinado de tempo. Ao contrário das bacias de retenção, elas não possuem no seu fundo, um nível permanente de água. O tempo que o volume de água permanece dentro da bacia é condicionado pelas estruturas de saída da bacia. Para que haja um mínimo de tratamento é necessário que o tempo de detenção seja de 12 horas.

Os principais mecanismos que agem na remoção dos poluentes são a sedimentação e os mecanismos biológicos. Estas bacias são usadas preferencialmente para o controle quantitativo, pois não têm um bom desempenho na remoção de poluentes, pois a remoção dos sólidos em suspensão é da ordem de 50 % (NCDENR, 1999).

Elas não possuem uma boa estética devido às estruturas de entrada e saída e também não propiciam um habitat para vida selvagem tão bom quanto as bacias de retenção. A Figura 2.7 ilustra uma bacia de amortecimento construída em um loteamento no município de Porto Alegre. Esta bacia foi projetada para controlar apenas as vazões de pico geradas pelo loteamento sendo do tipo *off-line*, ou seja, possui uma rede em paralelo que desvia as águas quando as vazões são pequenas.



Figura 2.7 – Bacia de detenção em Porto Alegre (arquivo pessoal).

2.5. HIDROLOGIA PARA CONTROLE QUALITATIVO

Para o projeto de obras de controle quantitativo os projetistas estão interessados em determinar quais são as situações críticas que as bacias estarão submetidas. Em obras de amortecimento, o conhecimento de hidrogramas com períodos de retorno de 10, 20 ou 50 anos são necessários para o seu dimensionamento.

Segundo CLAR e BARFIELD (2004) os projetos visando o controle qualitativo das águas estão focados no volume anual de escoamento superficial ao invés de vazões de pico de eventos. Isto ocorre porque todos os eventos de precipitação e o seu conseqüente escoamento superficial carregam poluentes. Apesar da concentração de poluentes ser maior no início do

escoamento em alguns eventos, devido à ocorrência de carga de lavagem, o restante do escoamento também contém poluentes e, portanto, deve ser tratado.

Estudos mostram que as chuvas menos intensas, porém com períodos de retorno que vão de dias até um ano respondem pela maior parte do volume de escoamento anual. Analisando a variabilidade das chuvas em Denver, GUO e URBONAS (1996) concluíram que 94,1% do volume anual de precipitação é causado por chuvas com menos de um ano de período de retorno. Comportamentos semelhantes são observados em outros locais (ex. CASQA, 2002). Portanto, quando se abordam os aspectos qualitativos das águas pluviais, é necessário levar em conta todos os eventos de chuva que produzem escoamento.

Para que ocorra a remoção dos poluentes através da sedimentação, é necessário que a água permaneça dentro da bacia o maior tempo possível, pois existem sólidos suspensos de pequenas dimensões que têm uma velocidade de sedimentação muito pequena. Devido às limitações de ordem prática, o tempo de esvaziamento da água na bacia deve ser limitado. Valores típicos são de 12, 24 ou 48 horas.

Como todos os eventos de escoamento gerados pela precipitação carregam poluentes, em uma situação ideal, todo o escoamento deveria ser tratado. Como isto não é possível, a questão a ser respondida é qual o volume de escoamento superficial que deve ser capturado e tratado por uma estrutura? Sabe-se que este é um fator crítico para o sucesso do tratamento. Se o volume do reservatório for muito pequeno, muitos eventos irão exceder a capacidade da estrutura e grande parte do escoamento irá sair da estrutura carregando poluentes, ou seja, a eficiência do tratamento será pequena. Por outro lado, se o volume do reservatório for muito grande, o custo da estrutura será excessivamente alto.

Em suma, duas variáveis conflitantes são necessárias para o dimensionamento de uma estrutura de controle qualitativo: o tempo de esvaziamento da bacia e o volume de armazenamento da bacia. O tempo de esvaziamento é estabelecido no início da análise para dimensionamento. O volume depende das características da precipitação local que está sendo considerada tais como: volume do evento, duração do evento e intervalo de tempo entre eventos consecutivos. Se a precipitação ao longo do ano consiste de poucos eventos com grande volume, a bacia de detenção terá um volume maior do que se ocorressem muitos eventos de pequeno volume. Se os eventos forem de curta duração, a bacia terá um volume maior do que se os eventos tiverem uma grande duração. Se o intervalo de tempo for muito

curto entre eventos o volume será maior, pois a bacia pode não estar totalmente vazia quando o evento seguinte iniciar.

PITT (2002) descreve um modelo que simula em detalhes os principais processos que são importantes para o controle qualitativo das águas pluviais. Este modelo permite uma simulação de longo período, desde a geração de escoamento superficial até os processos de sedimentação, que irão remover os poluentes. O modelo precipitação-vazão utilizado foi desenvolvido para pequenos eventos de chuva, com períodos de retorno pequenos. O autor relatou que os modelos precipitação-vazão convencionais apresentam comportamentos inadequados para representar o escoamento gerado por estes eventos, uma vez que existe grande variação do coeficiente de escoamento dependendo de pequenas variações no volume de precipitação e do tipo de cobertura de solo. A propagação do escoamento através das bacias de amortecimento utiliza o método de Pulz, associado a uma simulação da sedimentação. Em cada intervalo de tempo são calculadas as vazões de saída da bacia de retenção e a quantidade de material sedimentado, em função desta vazão de saída. Este modelo tem como vantagem a possibilidade de avaliar o desempenho do controle qualitativo de uma determinada bacia de amortecimento de forma muito detalhada, em termos de hidrogramas de entrada e saída, e sedimentação dos sólidos suspensos, para cada evento de precipitação que ocorrer se assim for desejado. No entanto, o uso deste modelo exige que sejam fornecidos dados de entrada de forma muito detalhada. Os principais dados necessários são as curvas cota-volume e cota-vazão da bacia de amortecimento, os tipos e percentagens de usos do solo da bacia hidrográfica afluente à bacia de amortecimento, a curva granulométrica dos sólidos em suspensão das águas pluviais, uma série contendo a precipitação ocorrida com discretização temporal adequada ao uso do modelo de propagação do escoamento na bacia.

2.6. DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE DETENÇÃO

O dimensionamento de uma bacia de retenção requer em primeiro lugar, a definição clara de seus objetivos. Os objetivos podem ser o controle do escoamento com a finalidade de evitar alagamentos com determinados períodos de retorno, o controle da erosão dos cursos d'água a jusante ou o controle da qualidade da água em seus diversos aspectos. Estes objetivos podem, ou não, ser atingidos pelo uso de uma mesma estrutura. Esta é uma decisão

a ser tomada na fase de planejamento. A maioria das autoridades reguladoras nos Estados Unidos exige que sejam atingidos estes três objetivos (AMEC, 2001; CASQA, 2003; UDFCD, 2002; KNOXVILLE, 2006). Tendo sido definidos os objetivos, é necessário então coletar as informações necessárias para que se possa projetar as estruturas.

2.6.1. Controle das vazões de pico.

Para o controle das vazões de pico, ou mais objetivamente dos alagamentos provocados por estas, são necessários dados a respeito da bacia de contribuição, do uso do solo e das características da precipitação do local, como curvas IDF, para a geração de hidrogramas que serão usados na determinação do volume da bacia de detenção e estruturas de saída da bacia.

A bacia de detenção deve ser projetada de forma a reservar os volumes excedentes de água gerados pelos hidrogramas de pós-urbanização, e as estruturas de saída devem manter as vazões de pico de pós-urbanização com os mesmos valores de pré-urbanização. Em geral, o dimensionamento é feito utilizando diversos períodos de retorno, onde, em todos eles, o critério da vazão de pico é testado. Valores típicos de período de retorno são de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

O uso de diversos períodos de retorno faz com que as estruturas de saída sejam múltiplas, com diversos orifícios e vertedores. Isto se deve ao fato de que uma única estrutura de saída não pode controlar adequadamente todas as vazões de pico. ROSSMILLER (1982) demonstrou através de simulações que a utilização de um único orifício em uma bacia dimensionada para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos faz com que as vazões de saída para períodos de retorno menores sejam maiores que as esperadas. Em uma das simulações o orifício foi calculado para manter a vazão de pico de pré-urbanização para 100 anos e foram obtidos valores de 217 e 178 % para as vazões de pré-urbanização para 2 e 5 anos, respectivamente.

2.6.2. Estimativa de volume para controle das vazões de pico.

Existem diversos métodos para estimar o volume necessário de armazenamento das bacias de detenção. Estes métodos servem para evitar um processo de tentativa e erro para a

determinação do volume, pois a verificação do comportamento da bacia de detenção se dá através de simulações que necessitam de um volume preestabelecido. A seguir serão mostrados alguns destes métodos, sem a pretensão de esgotar o assunto.

O *Natural Resources Conservation Service*, (NRCS, 1986) apresenta um método que relaciona a razão entre as vazões de pico de saída e entrada da bacia de detenção com a razão entre o volume a reservar e o volume de escoamento superficial. Este método foi desenvolvido com base em um grande número de simulações em diversas bacias de detenção com volumes e vazões diferentes. Foram criadas duas curvas, uma para as chuvas com distribuição temporal do tipo I e IA e outras para as chuvas tipo II e III (tipos padronizados de distribuições temporais de chuva nos EUA). A margem de erro do método é da ordem de 25 % e foi concebido de forma a não subestimar as estruturas de saída, podendo, porém superestimar o volume a armazenar.

A seguinte seqüência de passos deve ser seguida para o uso do método:

1. Determinar as vazões de pico de entrada (q_i) e saída (q_o);
2. Calcular a razão entre q_o e q_i ;
3. Calcular o volume de escoamento superficial (V_r) através da seguinte equação:

$$V_r = P_{ef} * A_C \quad (2.7)$$

4. Através da Figura 2.8 determinar a razão entre V_B/V_r ;
5. Calcular o volume a reservar através da seguinte equação:

$$V_B = V_r * \left(\frac{V_B}{V_r} \right) \quad (2.8)$$

Onde P_{ef} é a precipitação efetiva sobre a área de contribuição (m);

A_C é a área da bacia de contribuição (m^2).

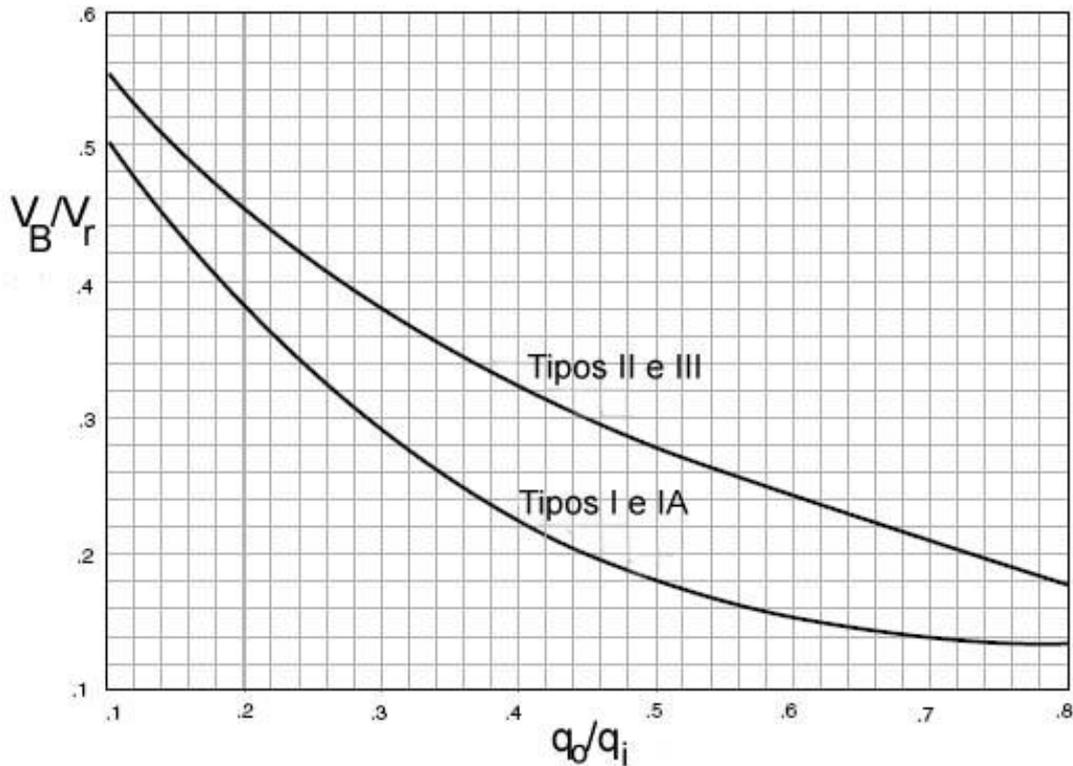


Figura 2.8 - Relação de Volume a armazenar/Volume de escoamento e Vazão de pico de saída/Vazão de pico de entrada. (adaptado de NRCS, 1986).

BAKER apud McCUEN (1989) apresenta um método baseado na premissa de que o volume a armazenar é igual à diferença entre os hidrogramas de pré e pós-urbanização. Neste método os hidrogramas são triangulares e as vazões de pico são calculadas pelo Método Racional. As vazões de pico ocorrem em um tempo igual ao tempo de concentração para cada hidrograma e a duração total dos hidrogramas é de duas vezes o tempo de concentração. A vazão de pico de pré-urbanização ocorre na recessão do hidrograma de pós-urbanização. O volume pode ser calculado de forma analítica através da Equação 2.9. A Figura 2.9 ilustra a dedução do método.

$$V_B = \left(1 - \frac{q_{pre}}{q_{pos}}\right) * (q_{pos} * 2 * t_{cpos}) \quad (2.9)$$

Onde t_{cpos} é o tempo de concentração de pós-urbanização;

q_{pre} é a vazão de pico de pré-urbanização;

q_{pos} é a vazão de pico de pós-urbanização.

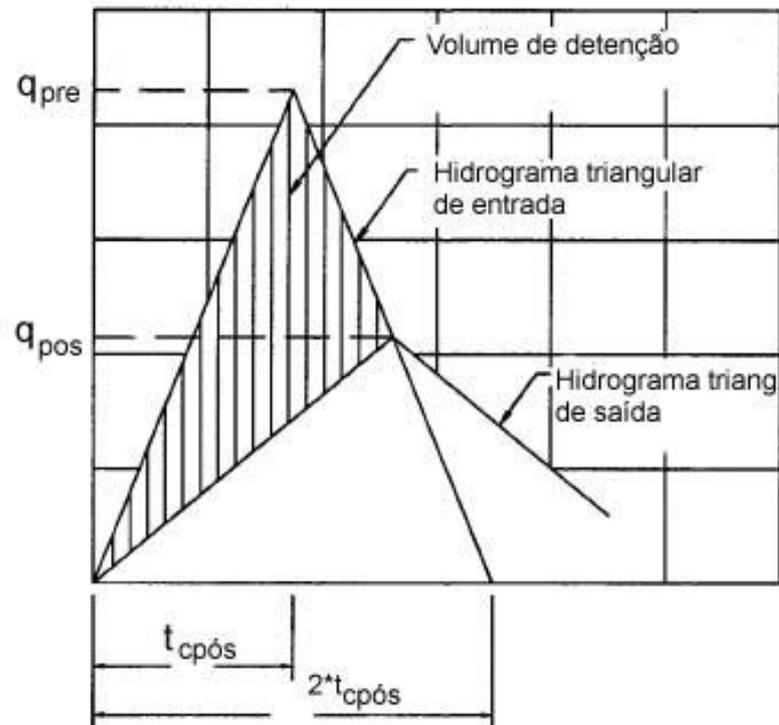


Figura 2.9 - Aplicação do método de Baker para cálculo do volume de uma bacia de retenção.
(adaptado de M_CCUEN, 1989).

SILVEIRA e GOLDENFUM (2007), generalizaram o método da curva envelope para uma solução explícita de pré-dimensionamento de diversos dispositivos de controle de vazões, entre eles bacias de retenção. O método consiste na comparação, ao longo do tempo, da curva de massa dos volumes afluentes à bacia de retenção com a curva de massa dos volumes dela efluentes, e a máxima diferença entre as duas curvas é o volume de dimensionamento (DAEE/CETESB, 1980). Para a aplicação desta metodologia é necessário que a equação de chuvas (IDF) do local onde será dimensionada a bacia de retenção seja do tipo Talbot. A Equação 2.10 permite o cálculo do volume da bacia de retenção, em milímetros sobre a área de contribuição.

$$V_B = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} * \sqrt{C * Tr^{b/2}} - \sqrt{\frac{c}{60}} * \sqrt{q_s} \right)^2 \quad (2.10)$$

Onde: V_B é o volume a ser armazenado em mm;

a , b e c são parâmetros da Equação IDF;

Tr é o período de retorno em anos;

C é o coeficiente de escoamento;

q_s é a vazão média de saída da bacia de detenção em mm/h.

O Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2005) também possui métodos para a estimativa de volumes de bacias de amortecimento em loteamentos. As Equações 2.11 e 2.12 permitem que se estime o volume necessário em função da área total da bacia contribuinte ou em função da área impermeável incidente na bacia contribuinte. Poderá ser adotado o menor dos volumes obtidos pelo uso das equações.

$$V_B = 0,02 * A_C \quad (2.11)$$

Onde V_B é o volume a ser armazenado em m^3 ;

A_C é a área da bacia contribuinte em m^2 .

$$V_B = 0,04 * A_I \quad (2.12)$$

Onde V_B é o volume a ser armazenado em m^3 ;

A_I é a área impermeável existente na bacia contribuinte em m^2 .

Através do Decreto Municipal 15.371 de 17 de novembro de 2006 foram estabelecidos critérios para o cálculo do volume de amortecimento e vazão máxima de saída para lotes com áreas inferiores a 100 ha. O volume é calculado pela Equação 2.13 e a vazão máxima de saída é de 20,8 l/s/ha (PORTO ALEGRE, 2002).

$$V_B = 0,0425 * A_I \quad (2.13)$$

Onde V_B é o volume a ser armazenado em m^3 ;

A_I é a área impermeável existente na bacia contribuinte em m^2 .

2.6.3. Controle da erosão dos corpos receptores.

Um dos efeitos adversos da urbanização é a erosão dos canais receptores (rios e arroios). Estudos demonstram que a calha principal dos canais naturais tem uma seção transversal capaz de conduzir uma vazão máxima com período de retorno de 1,5 a 2 anos. Assim sendo, como critério de projeto para o controle da erosão, foram recomendadas a manutenção das vazões de pico de pré-urbanização com período de retorno de 2 anos.

Este critério se mostrou inadequado, pois com a urbanização as vazões de pico de pré-urbanização com período de retorno estimados anteriormente como de 2 anos passam a ocorrer com maior frequência e com durações maiores. Este aumento de frequência e duração das vazões de pico faz com que ocorra a erosão dos canais naturais. Desta forma, foi adotado um segundo critério para o controle da erosão, a ser usado em conjunto com o critério acima descrito. A AMEC (2002), por exemplo, determina que seja mantida a vazão de pico de pré-urbanização para uma chuva de 24 horas de duração com período de retorno de 1 ano e com um tempo de esvaziamento da bacia de amortecimento de 24 horas.

Mesmo com a adoção deste segundo critério, em certos casos ainda ocorre erosão, pois é um fenômeno complexo e ainda pouco compreendido. Por isso, muitas vezes estudos mais aprofundados são necessários.

VIRGINIA (1999) recomenda que os cursos d'água receptores dos efluentes sejam estudados de forma a poder conduzir vazões de pós-urbanização com período de retorno de 2 anos sem sofrer erosão. Para este tipo de estudo são necessários além dos dados para a determinação dos hidrogramas, dados sobre os próprios corpos receptores, como o tipo de material do leito, a velocidade crítica de escoamento que causa a erosão, a influência da vegetação, etc.

2.6.4. Controle da qualidade das águas pluviais.

EPA (DRISCOLL et al., 1986) dividiu os Estados Unidos em quinze zonas de acordo com as estatísticas anuais de precipitação (Figura 2.10).

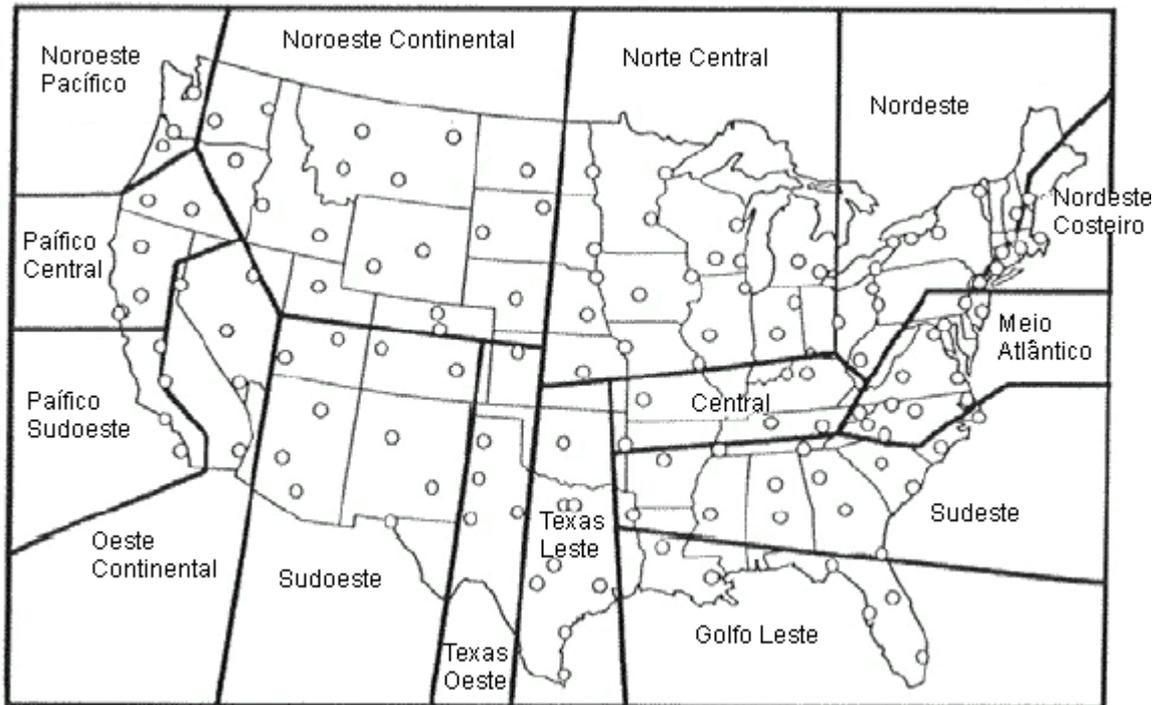


Figura 2.10 - Divisão dos EUA em zonas de precipitação (DRISCOLL et al., 1986).

Destas quinze zonas, duas, Meio Atlântico e Central, possuem estatísticas semelhantes aos valores encontrados para Porto Alegre, conforme Tabela 2.1. Estas duas regiões englobam vários estados, portanto, tentou-se encontrar quais são os critérios preconizados pelas autoridades nestes estados para o controle da poluição difusa. Alguns estados não possuem regulamentos específicos, mencionando-se apenas que devem ser seguidos os critérios definidos pela EPA. Em contrapartida, outros estados possuem critérios definidos. A seguir serão discutidos alguns destes critérios encontrados.

O estado da Virginia (VIRGINIA, 1999), estabelece que para ser feito o controle da qualidade da água pluvial, deve ser tratado um volume igual à carga de lavagem (*first flush*). O volume da carga de lavagem é considerado variável de 12,7 a 25,4 mm. Para fins práticos, o volume mínimo de controle para bacias de detenção é considerado como sendo 1 polegada ou 25,4 mm, multiplicados pelo coeficiente de escoamento e pela área de contribuição, e o tempo de esvaziamento da bacia de detenção é de 30 horas.

Tabela 2.1: Características das 15 zonas de precipitação dos EUA. (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).

Zona	Numero de eventos		Duração (horas)		Intesidade (mm/hr)		Volume (mm)		Intervalo (horas)	
	Med	CV	Med	CV	Med	CV	Med	CV	Med	CV
Nordeste	70	0,13	11,2	0,81	1,70	1,23	12,7	0,95	126	0,94
Nordeste Costeiro	63	0,12	11,7	0,77	1,80	1,05	16,8	1,03	140	0,87
Meio Atlântico	62	0,13	10,1	0,84	2,33	1,20	15,3	1,01	143	0,97
Central	68	0,14	9,2	0,85	2,46	1,09	15,7	1,00	133	0,99
Norte Central	55	0,16	9,5	0,83	2,21	1,20	14,0	1,01	167	1,17
Sudeste	65	0,15	8,7	0,92	3,10	1,09	19,0	1,10	136	1,03
Golfo Leste	68	0,17	6,4	1,05	4,52	1,03	20,3	1,19	130	1,25
Texas Leste	41	0,22	8,0	0,97	3,48	1,08	19,3	1,18	213	1,28
Texas Oeste	30	0,27	7,4	0,98	3,07	1,13	14,5	1,07	302	1,53
Sudoeste	20	0,30	7,8	0,88	2,00	1,16	9,40	0,88	473	1,46
Oeste Continental	14	0,38	9,4	0,75	1,40	1,06	9,14	0,87	786	1,54
Pacífico Central	32	0,25	13,7	0,80	1,22	0,85	14,7	1,05	265	2,00
Pacífico Sudoeste	19	0,36	11,6	0,78	1,37	0,76	13,7	0,98	476	2,09
Noroeste Continental	31	0,23	10,4	0,82	1,45	1,20	9,40	0,93	304	1,43
Noroeste Pacífico	71	0,15	15,9	0,80	0,89	0,73	12,7	1,09	123	1,50

De forma semelhante ao estado da Virginia, o estado da Carolina do Norte, (NCDENR, 1999), define que o volume de controle da qualidade deve ser de 1 polegada por unidade de área de contribuição, multiplicada pelo coeficiente de escoamento da área de contribuição. A diferença em relação ao estado da Virginia é que o tempo de esvaziamento das bacias de retenção deve ser de 48 a 120 horas (2 a 5 dias). Este tempo extra tem o objetivo de aumentar a eficiência na remoção dos poluentes, principalmente os poluentes solúveis que necessitam de um tempo maior para serem removidos.

A cidade de Knoxville (KNOXVILLE, 1999), no estado do Tennessee, possui um valor médio de precipitação por evento de 13,5 mm (0,53 polegadas), algo muito próximo aos 15,4 mm encontrados para Porto Alegre. Esta cidade disponibiliza três métodos de dimensionamento para o controle da qualidade das águas pluviais. O primeiro e mais simples também se baseia no conceito de carga de lavagem. Um volume equivalente a 12,3 milímetros ou 127 m³, o que for maior, devendo ser armazenado e lançado em um período de 24 a 72 horas. Este primeiro método é o menos restritivo, pois o volume necessário é menor em comparação com os outros dois.

O segundo método é baseado em um estudo em que foram feitas simulações utilizando o programa STORM do US Army Corps of Engineers. No estudo foram usados 44 anos de dados de precipitação horária coletados no aeroporto de McGhee Tyson. Neste método o objetivo é capturar 90 % do volume anual de escoamento superficial, com um tempo de esvaziamento de 36 horas. Através da Figura 2.11 é determinado um volume unitário em polegadas, em função dos 90 % de captura e do coeficiente de escoamento da bacia contribuinte. Este volume deve então ser multiplicado pela área da bacia contribuinte e dividido por doze, sendo o resultado um volume em acre-pés.

O terceiro método é baseado no volume maximizado de captura, com um tempo de esvaziamento de 24 horas. Convertendo a equação para unidades internacionais, tem-se a Equação 2.14.

$$V = \frac{21,29 * C * A_C}{1000} \quad (2.14)$$

Onde: C é o coeficiente de escoamento;

A_C é a área da bacia contribuinte em m^2 ;

V é o volume maximizado em m^3 .

Para o coeficiente de escoamento igual a 1, a Equação 2.14 se torna o valor da área da bacia contribuinte multiplicado por 21,29. Para Porto Alegre, com o mesmo coeficiente de escoamento, a equação para o volume maximizado é a área da bacia contribuinte multiplicado por 22,5. A diferença de volume entre Porto Alegre e Knoxville para este caso é de apenas 5,25 %, sendo que a diferença entre os volumes médios de precipitação por evento entre as duas cidades, que é o critério de comparação, é de 12,5 %.

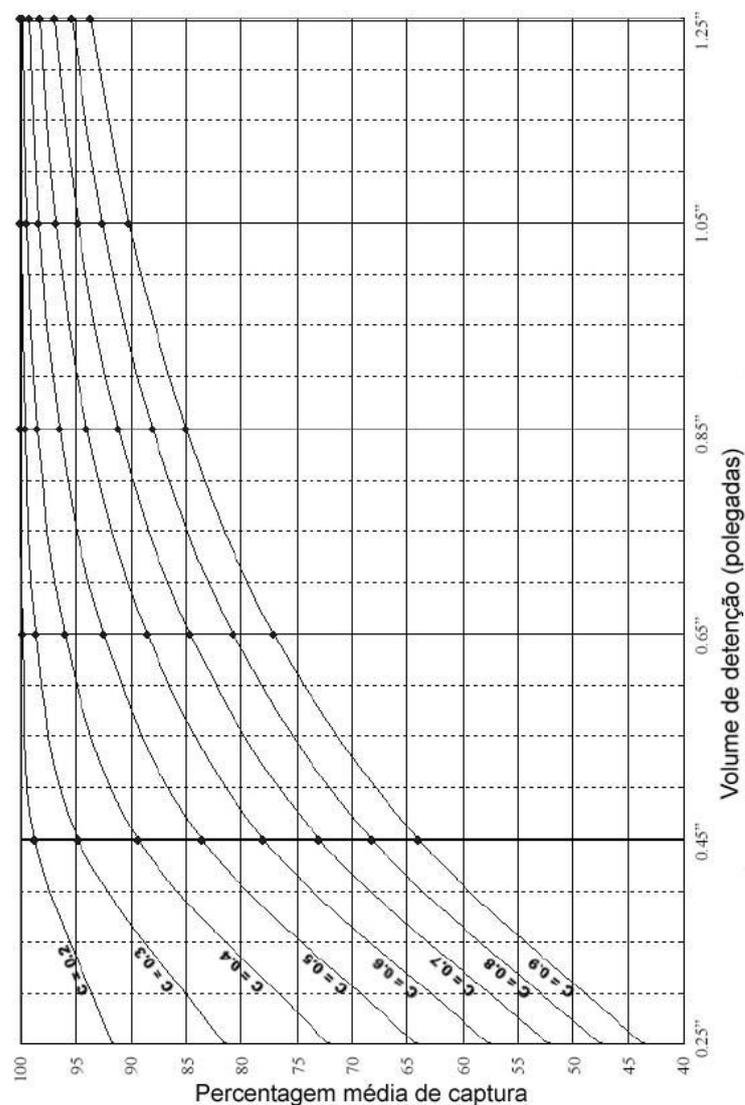


Figura 2.11 - Volume de detenção para controle da poluição difusa na cidade de Knoxville (adaptado de KNOXVILLE, 2006).

Outros estados americanos com valores de precipitação média por evento maiores ou menores que aqueles encontrados nas zonas Meio Atlântico e Central exigem volumes de controle maiores ou menores, respectivamente.

A cidade de Denver no estado do Colorado está localizada na zona Noroeste Continental que possui o volume médio de precipitação por evento igual a 9,40 mm (0,37 polegadas). Segundo UDFCD (2002) o volume de controle para bacias de retenção estendida deve ser calculado pela Equação 2.15 com um tempo de esvaziamento de 40 horas.

$$V_{80} = 0,91 * I^3 - 1,19 * I^2 + 0,78 * I \quad (2.15)$$

Onde: V_{80} é o volume em polegadas de captura referente a 80 % do volume anual;

I é a fração de área impermeável na bacia de contribuição.

O estado da Geórgia localiza-se na zona Sudeste que possui o volume médio de precipitação por evento igual a 19,05 mm (0,75 polegadas). A orientação quanto ao volume baseia-se na captura de 85 % do volume anual de escoamento superficial, o que corresponde a 30,48 mm (1,2 polegadas) de precipitação. O tempo de esvaziamento deve ser de no mínimo 24 horas.

2.6.5. Estruturas de entrada e saída das bacias de amortecimento.

As estruturas de entrada e saída têm um papel fundamental para o correto funcionamento das bacias de amortecimento. As estruturas de entrada servem para evitar que as grandes velocidades do escoamento causem erosão no interior da bacia e para reter os sedimentos mais grosseiros. Já as estruturas de saída condicionam o comportamento hidráulico da bacia de amortecimento.

2.6.6. Estruturas de entrada

As estruturas de entrada têm o papel de receber as águas que afluem à bacia de amortecimento de maneira adequada ao bom funcionamento das mesmas. Um dos problemas

que podem ocorrer na entrada é a erosão, principalmente se a bacia de detenção não tiver revestimento. Paredes de concreto ou alvenaria e enrocamento são utilizadas para proteger os taludes e o fundo da bacia de detenção. Na Figura 2.12 (JEFFERIES, 2004) estão ilustrados detalhes típicos das estruturas de entrada, com o intuito de evitar erosão.

Outro tipo de detalhe geralmente adotado na entrada das bacias de amortecimento é uma pequena área de pré-sedimentação separada do restante da bacia por uma berma cuja finalidade é reter os sedimentos maiores e mais grosseiros. Esta área em geral é pavimentada para permitir a remoção dos materiais grosseiros através de equipamentos.



Figura 2.12 - Detalhes de estruturas de entrada, típicos de bacias de detenção. (JEFFERIES, 2004)

2.6.7. Estruturas de saída

As estruturas de saída, em conjunto com a curva cota/armazenamento, determinam o comportamento hidráulico da bacia de amortecimento. As vazões de saída na bacia de amortecimento dependem, a cada instante, do tipo de estrutura de saída, suas dimensões, e da altura da água dentro da bacia. Os tipos mais comuns são os vertedores, que podem ter diversas formas, e os descarregadores de fundo, geralmente circulares.

Para o controle das vazões de pico podem ser usados tanto vertedores quanto descarregadores de fundo. Em geral utilizam-se descarregadores (orifícios) para as vazões com períodos de retorno menores, e vertedores para as vazões com períodos de retorno maiores. Para as vazões de saída necessárias ao controle qualitativo usam-se orifícios, geralmente múltiplos e de pequeno diâmetro (Figura 2.13).



Figura 2.13 - Orifícios múltiplos e instalação em poço de visita (JEFFERIES, 2004).

2.6.8. Dimensionamento das estruturas de saída.

As estruturas de saída devem ser dimensionadas de modo a que sejam atingidos os objetivos propostos pela utilização das bacias de amortecimento. Para o controle das vazões de pico é necessário conhecer apenas o valor máximo que se deseja obter através do uso da bacia de detenção. Por outro lado para o controle qualitativo o enfoque é diferente, pois o objetivo é de que as águas permaneçam dentro da bacia por um determinado período de tempo mínimo.

O dimensionamento das estruturas para controle de vazões de pico parte do conhecimento do volume a ser armazenado, e conseqüentemente da altura de água dentro da bacia de detenção, e da vazão máxima de saída a ser atingida. O cálculo destes dados foge ao escopo deste trabalho. Com os dados acima, o projetista deve escolher o tipo de elemento que vai utilizar, seja este um vertedor ou orifício, e então determinar as suas dimensões.

Para o dimensionamento visando o controle qualitativo é necessário o conhecimento do volume e altura de água na bacia de detenção, bem como o tempo que a água deve permanecer dentro da estrutura. Conhecidos o volume a armazenar e o tempo de esvaziamento pode-se calcular a vazão média de esvaziamento. Segundo a AMEC (2001), o orifício para o controle qualitativo pode ser dimensionado de duas maneiras:

1. Utilizando a altura máxima de água na bacia de detenção e a vazão máxima de saída, que é igual a duas vezes a vazão média efluente, calcula-se a área necessária do orifício. Em seguida deve-se verificar o tempo de esvaziamento através de um método de propagação de vazões em reservatório, como o Método de Pulz.
2. Utilizando a altura média de água na bacia de detenção e a vazão média de saída, calcula-se a área necessária do orifício.

2.6.9. Aspectos construtivos e manutenção das bacias de amortecimento.

A seguir serão descritas algumas recomendações que devem ser observadas para que as bacias de detenção tenham segurança e bom funcionamento.

O formato da bacia deve ser alongado, de forma que não haja curto-circuito entre a entrada e a saída. Os curto-circuitos diminuem a sedimentação fazendo com que a remoção de poluentes seja prejudicada. UDFCD (2002) recomenda que a razão entre comprimento e largura seja entre 2:1 e 3:1. Além disso, é recomendado que se adote uma forma oval, de maneira que a bacia tenha uma gradual expansão desde as estruturas de entrada e uma gradual retração até a saída. A Figura 2.14 mostra uma bacia em vista superior onde se pode visualizar o seu formato alongado e oval.

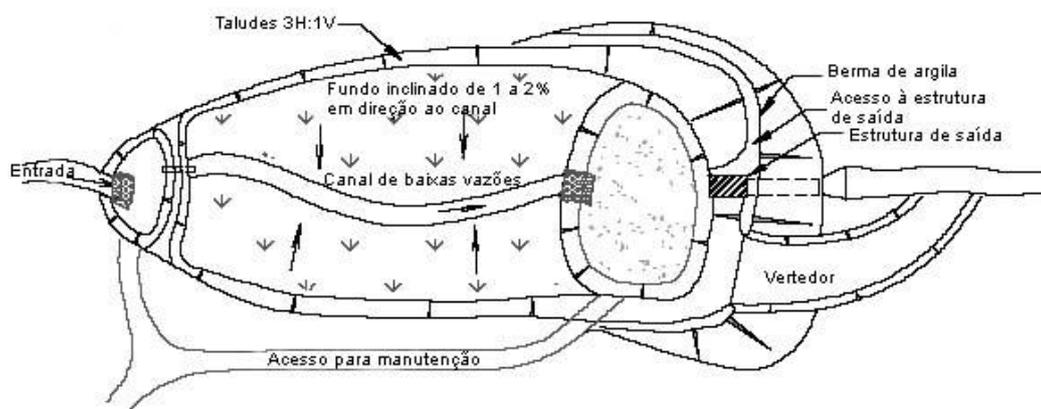


Figura 2.14 - Vista de em planta de uma bacia de amortecimento (adaptado de UDFCD, 2002).

Os taludes da bacia devem ser suaves por questões de segurança. Bacias de detenção podem ser implantadas em praças e podem ser utilizada para outra finalidade, tal como quadras de esporte. Caso haja pessoas usando a bacia quando ocorrer um evento chuvoso, elas podem facilmente sair através dos taludes. A AMEC (2001) recomenda que a inclinação dos taludes seja de 3:1 (H:V).

No fundo da bacia de detenção é recomendada a construção de um canal para pequenas vazões, partindo da área de pré-sedimentação na entrada até as estruturas de saída. Este canal deve ser construído de forma a proteger o fundo da bacia de detenção para evitar erosão sendo utilizado concreto ou enrocamento para a sua confecção. O UDFCD (2002) recomenda que este canal tenha a capacidade de escoar duas vezes a vazão de saída da área de pré-sedimentação.

Como é esperado que ocorra sedimentação dentro da bacia, é importante prever um volume extra, além daqueles calculados para cumprir as funções normais da bacia, que será gradativamente preenchido pelos sedimentos. Este volume extra pode variar de 20% a 50% do volume necessário para o controle qualitativo. Em locais em que o nível do lençol freático esteja muito superficial deve-se tomar cuidados para que não haja contaminação do mesmo devido a eventual infiltração no fundo da bacia. O controle da infiltração pode ser feito através da utilização de uma camada de argila compactada, uso de mantas de impermeabilização, dentre outros.

É de fundamental importância a adoção de um programa contínuo de manutenção das bacias de amortecimento para que estas possam desempenhar seu papel. Entre as ações a serem tomadas existem aquelas que devem ser executadas periodicamente e aquelas devido a grandes eventos de precipitação. As ações periódicas são a remoção da vegetação que cresce nos taludes e fundo da bacia, a remoção de detritos como folhas e lixo nas estruturas de entrada e saída, a remoção do sedimento acumulado no fundo da bacia ao longo do tempo, o conserto de eventuais estragos causados pela erosão, etc. Quando ocorrem grandes eventos de precipitação deve ser procedida uma vistoria para verificar se ocorreram danos nas bacias de detenção, grande acúmulo de sedimentos, falha de alguma estrutura, etc.

2.7. RELAÇÕES ENTRE COEFICIENTE DE ESCOAMENTO, IMPERMEABILIZAÇÃO E DENSIDADE HABITACIONAL

O coeficiente de escoamento é um coeficiente utilizado no cálculo de escoamento superficial, que engloba todas as perdas ocorridas na precipitação. O coeficiente de escoamento pode ser determinado em função do tipo e uso do solo, sendo que na literatura técnica existem diversas tabelas usadas para este fim.

Em alguns projetos existem outras informações disponíveis, tal como a percentagem de áreas impermeáveis que podem ser obtidas através de técnicas de geoprocessamento. Outra informação, que pode ser obtida através de censos ou projeções definidas por planos diretores de desenvolvimento urbano, é a densidade habitacional máxima para uma determinada região de uma cidade. Estas informações podem ser correlacionadas com o coeficiente de escoamento.

No programa NURP realizado pelo EPA no início dos anos oitenta, foi feita uma análise dos dados de precipitação e escoamento superficial, resultando em uma equação correlacionando o coeficiente de escoamento com a percentagem de impermeabilização da bacia (DRISCOLL et al.,1986).

Os dados usados foram obtidos de mais de 60 bacias urbanas dos Estados Unidos, com precipitações observadas em um período de 2 anos. Esta equação é especialmente útil no caso de precipitações de baixa intensidade e pequeno período de retorno, típicos da maioria dos eventos. Uma curva polinomial de terceiro grau foi usada como ajuste (Equação 2.16).

$$C = 0,858 * I^3 - 0,78 * I^2 + 0,774 * I + 0,04 \quad , R^2=0,79 \quad (2.16)$$

SILVEIRA (2000) analisou dados da bacia do arroio Dilúvio em Porto Alegre obtendo a seguinte equação para o coeficiente de escoamento em função da impermeabilização do solo:

$$C = 0,161 * AIMP^{0,29} + 0,1 \quad (2.17)$$

Onde: C é o coeficiente de escoamento;

I é a fração impermeável;

AIMP é a percentagem de área impermeável.

TUCCI et al. (1989), usando dados de bacias urbanas da região metropolitana de São Paulo, obtiveram uma equação relacionando a percentagem de áreas impermeáveis com densidades habitacionais. Em outro estudo, CAMPANA e TUCCI (1994) usaram dados de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre para obter uma relação entre densidade habitacional e área impermeável. Na Tabela 2.2 estão os valores obtidos. Estes dados se referem a bacias com áreas inferiores a 2 km², com ocupação predominantemente residencial e declividades médias.

Tabela 2.2: Relação entre densidade habitacional e área impermeável

Densidade habitacional (hab/ha)	Área impermeável (%)
25	11,3
50	23,3
75	36,0
100	50,0
120	58,7
150	64,7
200	66,7

3. METODOLOGIA.

3.1. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA.

Para a determinação, ao nível de planejamento ou pré-dimensionamento, do volume a armazenar para o controle da poluição difusa não é necessário um grau de detalhamento tão elevado quanto o que pode ser obtido com o modelo descrito por PITT (2002). O modelo descrito por URBONAS e STAHRE (1993) fornece resultados anuais compatíveis com os obtidos por modelos mais detalhados. Assim sendo, optou-se pela utilização deste modelo, associado a um modelo de avaliação da eficiência da remoção de sólidos em suspensão, para a execução do trabalho proposto.

Conhecendo os requisitos necessários para a remoção dos poluentes através de sedimentação e sabendo da dependência destes das características da precipitação local, o comportamento de bacias de detenção foi simulado para o Município de Porto Alegre com uma série histórica de precipitação utilizando-se o procedimento descrito por URBONAS e STAHRE (1993) com o intuito de determinar o tempo de esvaziamento das bacias e os volumes de armazenamento para controle da poluição difusa. O tempo foi fixado no início da simulação e os volumes correspondentes foram calculados através equações obtidas por ajuste aos valores resultantes das simulações.

A literatura apresenta diversas recomendações para o dimensionamento de bacias de detenção considerando o volume necessário para controle da poluição difusa, como foi visto na revisão bibliográfica. Algumas recomendações utilizadas preconizam que o volume necessário para o controle é a captura de 80, 85 ou 90 % do volume anual. Outros adotam um volume maximizado. A escolha de um ou outro volume deve ser baseada em algum critério objetivo. O critério adotado neste trabalho para a escolha dos volumes foi uma comparação entre o benefício obtido e o custo envolvido. Foram calculados os volumes correspondentes aos valores de 80, 85 e 90 % de captura e volume maximizado, bem como a eficiência na remoção dos poluentes para cada uma das alternativas através da metodologia descrita por DRISCOLL et al. (1986). Estas eficiências foram então comparadas com os custos por metro cúbico de cada uma das alternativas, gerando uma relação de benefício/custo.

3.2. OBTENÇÃO DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO.

No município de Porto Alegre existem dois postos com registros pluviográficos que podem ser utilizados. Os postos contêm dados dos seguintes locais: Aeroporto Salgado Filho, 8º Distrito de Meteorologia do INMET. Os dados dos postos Aeroporto Salgado Filho e 8º Distrito de Meteorologia compilados por BEMFICA (2000), e estão parcialmente disponíveis em meio digital na biblioteca do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

3.3. ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Os dados brutos de precipitação passaram por uma análise inicial para posterior utilização na determinação do volume de controle qualitativo. Em primeiro lugar, foi feita a delimitação individual de eventos de precipitação. Foi especificado um intervalo mínimo de tempo em que, não havendo precipitação, estaria caracterizado um novo evento. Valores de 6, 12 e 24 horas podem ser usados para o controle qualitativo (GUO e URBONAS, 1996). Os mesmos autores recomendam que se utilize o valor que seja igual à metade do tempo de esvaziamento da bacia de retenção.

Após a delimitação dos eventos, aqueles que não possuíam volume suficiente para a produção de escoamento superficial foram descartados da análise. As perdas iniciais podem variar de acordo com a localização e o uso do solo. GUO e URBONAS (1996) determinaram valores entre 1,45 e 2,9 mm para a região de Denver, nos Estados Unidos da América.

3.4. DETERMINAÇÃO DO VOLUME MAXIMIZADO DE CONTROLE

O método de URBONAS e STAHR (1993) visa a otimização do volume de escoamento capturado e tratado. A Figura 3.1 auxilia a compreensão da metodologia. O eixo horizontal representa o volume normalizado da bacia de retenção, enquanto que o eixo vertical representa a fração do volume total capturado. Partido-se de um ponto próximo a intersecção dos eixos, um pequeno incremento no volume da bacia de retenção produz um

grande aumento no volume capturado. À medida que aumenta o volume de detenção, um incremento neste volume produz um aumento cada vez menor no volume capturado até ser atingido o ponto de maximização. No ponto de maximização a declividade da reta tangente é de 1:1, ou seja, a razão entre os volumes é igual a 1. A partir do ponto de maximização a razão entre os aumentos de volumes se inverte, ou seja, é necessário um aumento cada vez maior no volume da bacia de detenção para se obter um determinado aumento no volume capturado.

Para um evento qualquer o volume de precipitação pode ser convertido em escoamento através da equação a seguir:

$$P_r = C * (P_t - P_i) \quad (3.1)$$

Onde: P_r = volume de escoamento (mm);

C = coeficiente de escoamento;

P_t = precipitação sobre a área contribuinte (mm);

P_i = perdas iniciais (mm).

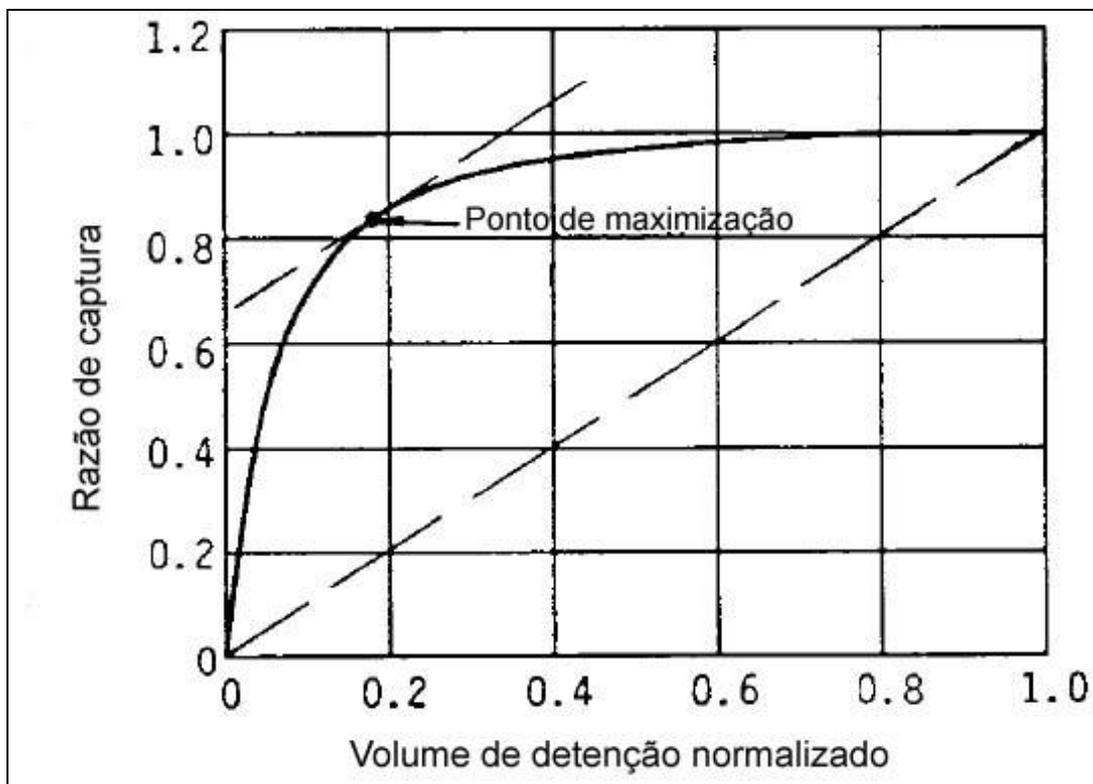


Figura 3.1 - Maximização do volume de controle (adaptado de GUO e URBONAS, 1996).

Para uma bacia de detenção com um volume total dado por P_P (mm), a vazão média de esvaziamento q_S (mm/h) é dada por:

$$q_S = \frac{P_P}{T_e} \quad (3.2)$$

Onde: T_e = tempo de esvaziamento do volume total da bacia em horas;

P_P = volume da bacia de detenção em mm por unidade de área contribuinte.

O volume máximo de escoamento que a bacia pode capturar é igual ao seu volume mais o volume de água que é liberado pela estruturas de saída durante a duração do evento:

$$P_C = P_P + q_S * T_d \quad (3.3)$$

Onde: P_C = máximo volume capturado (mm);

T_d = duração do evento (h).

Se o volume de escoamento for menor que o volume máximo de captura, considera-se que o evento é inteiramente capturado e tratado. Se o volume de escoamento for maior que o volume máximo de captura, o volume em excesso é considerado como volume não tratado.

Para um conjunto de N eventos que produzem escoamento, somando-se o volume de escoamento de todos estes, tem-se o volume acumulado para o período, dado por P_{tr} , em mm:

$$P_{tr} = \sum_{j=1}^N P_{rj} \quad (3.4)$$

O volume acumulado não capturado P_{to} , é dado por:

$$P_{to} = \sum_{j=1}^N (P_{rj} - P_{cj}) \quad (3.5)$$

A partir destes dois volumes dados pelas Equações 3.4 e 3.5 pode-se definir uma razão de captura de escoamento R_v para o todo o período considerado:

$$R_v = 1 - (P_{to} / P_{tr}) \quad (3.6)$$

Também é possível definir uma razão de captura de eventos:

$$R_n = 1 - (N_{to} / N) \quad (3.7)$$

Onde: N_{to} = número de eventos não capturados;

N = número total de eventos.

Antes da aplicação deste método, é necessária a escolha do tempo de esvaziamento da bacia, que deve ser igual ao dobro do tempo entre dois eventos de precipitação consecutivos. Os eventos de precipitação são convertidos em escoamento através da adoção de um coeficiente de escoamento e da aplicação da Equação 3.1. Em seguida, são ordenados em ordem crescente de volumes escoados superficialmente. Para evitar que poucos eventos de grande magnitude influenciem os resultados, o valor que corresponde ao percentil 99,5 (P_M) foi selecionado e usado como o maior evento na análise. Este valor também é usado para normalizar o volume de detenção da bacia.

Para encontrar o valor otimizado de controle, foi testada uma série de valores incrementais de volumes de detenção. Para cada um dos valores da série, calculou-se a razão de captura de escoamento através das equações 3.4, 3.5 e 3.6, ou a razão de captura de eventos pela Equação 3.7. Em seguida, foi confrontado o valor da razão de captura de escoamento ou eventos (eixo vertical) contra o volume de detenção, normalizado pelo volume correspondente ao percentil 99,5. O ponto de maximização foi determinado através da procura do ponto cuja declividade da reta tangente é igual a 1. A Figura 3.2 apresenta um fluxograma para a aplicação desta metodologia.

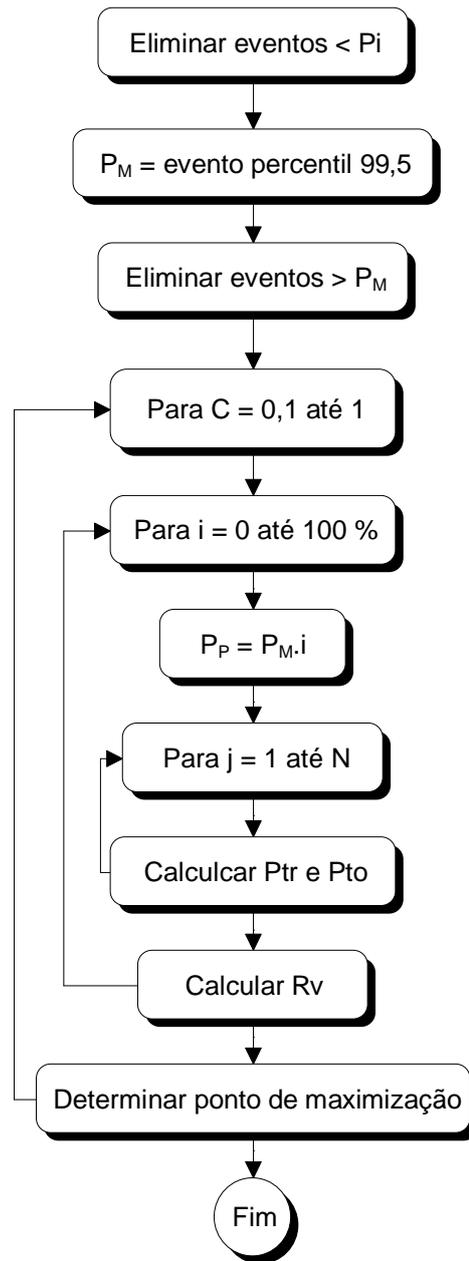


Figura 3.2 - Fluxograma do algoritmo para obtenção do volume maximizado.

3.5. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DE POLUENTES.

Para a avaliação da eficiência na remoção de sólidos em suspensão em bacias de retenção, DRISCOLL et al. (1986) apresenta um método que combina modelos estatísticos de análise de precipitação e escoamento superficial com um modelo de sedimentação para a remoção de sólidos em suspensão sob condições estáticas e dinâmicas. A condição dinâmica ocorre durante os eventos de precipitação, quando há vazão afluente à bacia de retenção. Por outro lado a condição estática ocorre quando não há precipitação, mas ainda existe um volume de água na bacia, permitindo a sedimentação dos sólidos em suspensão e poluentes.

Para a utilização deste método é necessário o conhecimento dos valores médios e coeficientes de variação de quatro variáveis relacionadas com o escoamento superficial que ocorre em um determinado local de interesse: volume, vazão, duração e intervalo de tempo entre eventos consecutivos.

Também é necessário que se conheça a distribuição granulométrica dos sólidos em suspensão contidos na água afluente à bacia de retenção, pois a velocidade de sedimentação depende diretamente do tamanho das partículas em suspensão. Por este motivo, o método permite o cálculo da eficiência da sedimentação por faixas de distribuição granulométrica, podendo ser obtido um valor médio global.

Por fim, para o cálculo da eficiência de remoção de poluentes de uma determinada bacia de retenção, são necessários os elementos geométricos da mesma, tais como volume, área superficial e profundidade.

3.5.1. Definição das variáveis que descrevem o escoamento superficial.

O escoamento superficial gerado pela precipitação é caracterizado como uma série de eventos independentes que ocorrem aleatoriamente no tempo. Cada evento em questão é caracterizado pela sua duração d_R , pelo volume v_R , o intervalo de tempo desde a precipitação anterior δ_R (considerando os instantes que definem a metade da duração dos eventos), e o escoamento médio $q_R = v_R/d_R$. A Figura 3.3 ilustra a definição destas variáveis.

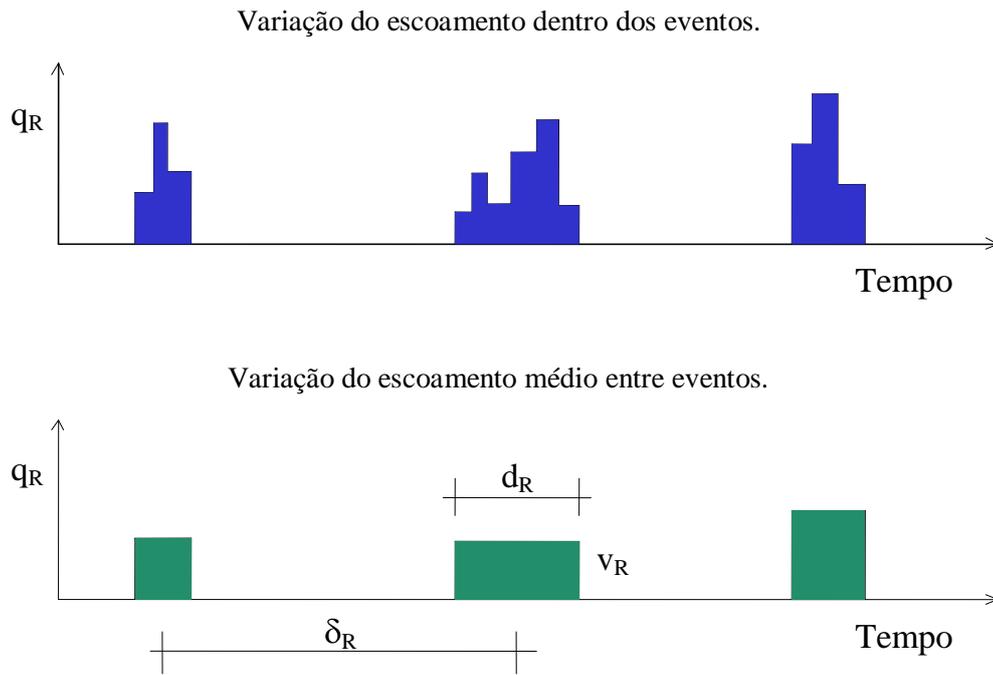


Figura 3.3 - Definição das variáveis relativas ao escoamento superficial (adaptado de DI TORO e SMALLL, 1979)

As variáveis v_R , q_R , d_R e δ_R são consideradas aleatórias, independentes entre si e possuem distribuições de probabilidade do tipo Gama, com valores médios iguais a V_R , Q_R , D_R e Δ_R , respectivamente, e coeficientes de variação v_v , v_q , v_d , e v_δ . Para a aplicação do método assume-se que sejam conhecidas estas estatísticas através da análise de registros de precipitação e escoamento superficial.

Em geral, o escoamento superficial não é medido diretamente, assim sendo as estatísticas acima devem ser calculadas a partir da precipitação. Da análise de uma série englobando alguns anos de dados de precipitação com valores medidos em um intervalo de tempo de uma hora ou menos são calculadas as seguintes variáveis: o volume médio de precipitação (V_p), a intensidade média (I_p), a duração média do evento (D_p) e o intervalo médio entre eventos (Δ_p). Estes valores médios se referem a eventos individuais, não a valores diários ou mensais.

O volume médio escoado e a vazão média foram obtidos pela aplicação do Método Racional. Os valores de duração média e de intervalo médio entre os eventos de escoamento foram considerados iguais aos valores calculados para os eventos de precipitação. Os valores dos coeficientes de variação para as quatro estatísticas de escoamento também foram considerados iguais aos valores calculados para os eventos de precipitação.

As equações para o cálculo das estatísticas de escoamento em função da precipitação são descritas a seguir.

$$Q_R = I_p * C * A_C \quad (3.8)$$

Onde: Q_R é a vazão média de escoamento (m^3/h);

I_p é a intensidade média de precipitação (m/h);

C é o coeficiente de escoamento da bacia de contribuição;

A_C é área superficial da bacia de contribuição (m^2).

$$V_R = V_p * C * A_C \quad (3.9)$$

Onde: V_R é o volume médio escoado (m^3);

V_p é o volume médio de precipitação (m);

C é o coeficiente de escoamento da bacia de contribuição;

A_C é área superficial da bacia de contribuição (m^2).

$$\Delta_R = \Delta_p \quad (3.10)$$

Onde: Δ_R é intervalo médio entre eventos de escoamento (h);

Δ_p é intervalo médio entre eventos de precipitação (h).

$$v_v = v_{v_p} \quad (3.11)$$

Onde: v_v é coeficiente de variação do volume de escoamento;

v_{v_p} é coeficiente de variação do volume de precipitação.

$$v_q = v_{I_p} \quad (3.12)$$

Onde v_q é coeficiente de variação da vazão escoada;

v_{I_p} é coeficiente de variação da intensidade de precipitação.

3.5.2. Cálculo da eficiência da remoção dos sólidos em suspensão.

O cálculo da eficiência da remoção dos sólidos em suspensão e dos poluentes associados é feito em duas etapas. Na primeira etapa é feito o cálculo para a condição dinâmica, ou seja, durante os eventos de precipitação. Na segunda etapa é calculada a eficiência estática, durante o período em que não há precipitação mas existem volumes de água dentro da bacia de detenção. Por fim, calcula-se a eficiência total combinando-se os valores encontrados nas duas situações.

Para a condição dinâmica, a eficiência da remoção é calculada para cada fração de partículas usando uma equação clássica de sedimentação:

$$R_d = 1 - \left[1 + \frac{1}{n} * \frac{V_s}{\frac{Q_R}{A_B}} \right]^{-n} \quad (3.13)$$

Onde: R_d é a fração removida da quantidade inicial de sólidos em suspensão;

V_s é a velocidade média de sedimentação da fração de partículas;

Q_R é a vazão média escoada através da bacia de detenção;

A_B é a área superficial da bacia de detenção;

n é um fator que representa a desempenho da sedimentação.

Esta eficiência é calculada para a vazão na bacia de detenção obtida em função da média Q_R . Em alguns eventos a vazão de pico através da bacia de detenção poderá ser maior que a média e em outros poderá ser menor. Desta forma a eficiência será maior que a média em alguns casos e menor em outros. Para levar em conta a variação do escoamento ao longo dos eventos na estimativa da eficiência a longo prazo, utiliza-se a seguinte equação:

$$R_L = Z * \left[\frac{r}{r - \ln\left(\frac{R_d}{Z}\right)} \right]^{(r+1)} \quad (3.14)$$

Onde: R_L é a remoção dinâmica a longo prazo;

R_d a fração removida da quantidade inicial de sólidos em suspensão para a vazão média anual;

$$r = 1/v_q^2;$$

Z é a fração máxima removida a taxas de aplicação muito baixas, variando de 80 % a 100 %.

Calculada a eficiência para cada fração de partículas, pode-se calcular a eficiência média dinâmica através de uma média aritmética chamada R_{LM} .

A condição estática de sedimentação ocorre quando não há precipitação, conseqüentemente não há escoamento afluente à bacia de detenção. A eficiência da remoção de sólidos em suspensão neste caso depende diretamente da área da bacia de detenção e indiretamente do intervalo de tempo até a próxima condição dinâmica. Isso ocorre porque para frações de sólidos com velocidades de sedimentação muito baixas, o intervalo de tempo entre precipitações pode não ser suficiente para a sedimentação completa. A duração e quando irá ocorrer um período estático são variáveis aleatórias.

O volume útil da bacia de detenção para a remoção de sólidos não é igual ao volume físico da mesma. Isso ocorre devido à aleatoriedade dos períodos de precipitação, que fazem com que em certos eventos ainda haja volumes de água proveniente de precipitações anteriores. Portanto, para o cálculo da eficiência estática é necessária a determinação do volume efetivo de armazenamento da bacia de detenção.

O cálculo da eficiência da remoção estática não pode ser feito de forma analítica, pois envolve a avaliação de integrais duplas com funções gama. Assim sendo o cálculo deve ser feito através de métodos numéricos.

Na literatura consultada não foi encontrada uma descrição suficientemente detalhada dos métodos numéricos necessários para o cálculo das integrais. Porém DRISCOLL et al. (1986) apresenta dois gráficos (Figura 3.4 e 3.5) que permitem o seu cálculo.

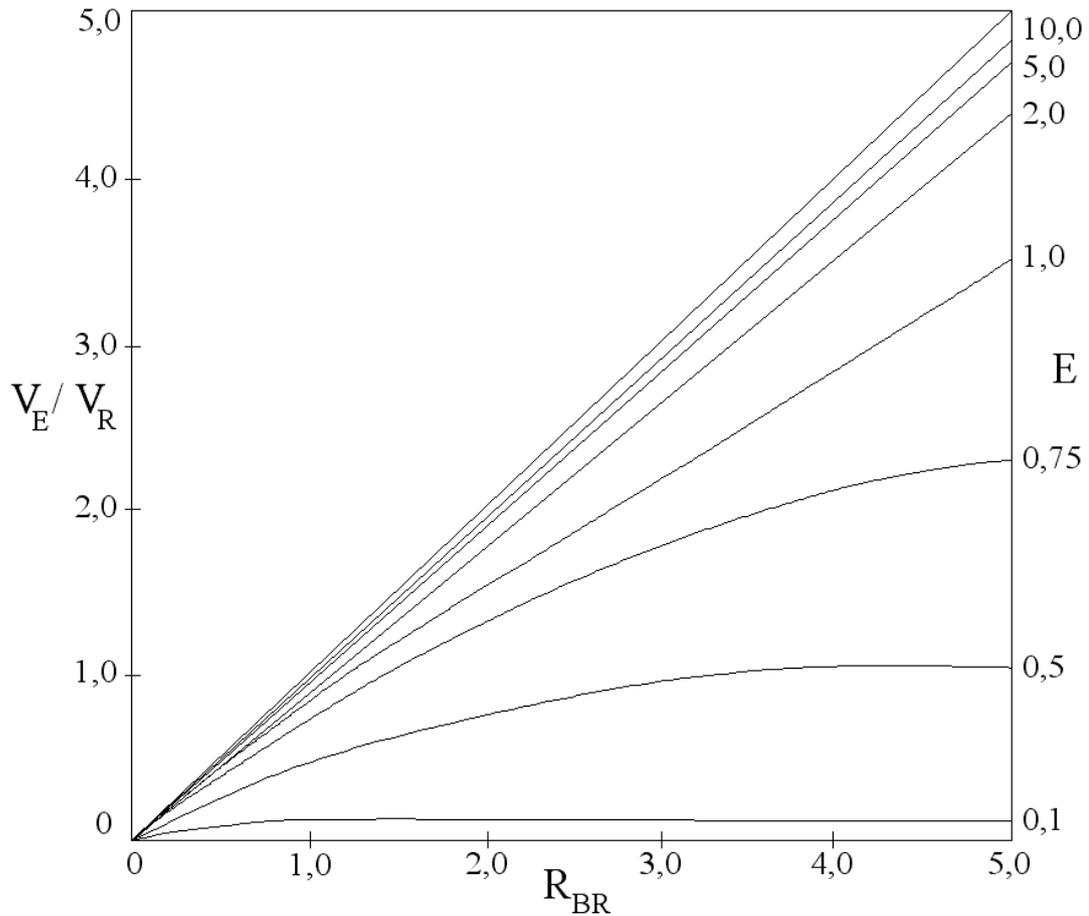


Figura 3.4 - Efeito de precipitações antecedentes sobre o desempenho de longo prazo sob condições estáticas (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).

Para o uso destas Figuras é necessário o cálculo de dois parâmetros:

$$E = \frac{\Delta_R * V_S * A_B}{V_R} \quad (3.15)$$

$$R_{BR} = \frac{V_B}{V_R} \quad (3.16)$$

Onde: Δ_R é intervalo médio entre eventos de escoamento (h);

V_S é a velocidade de sedimentação da fração de partículas (m/h);

A_B é área superficial da bacia de detenção (m^2);

V_R é o volume médio escoado (m^3);

V_B é o volume nominal da bacia de detenção em análise (m^3).

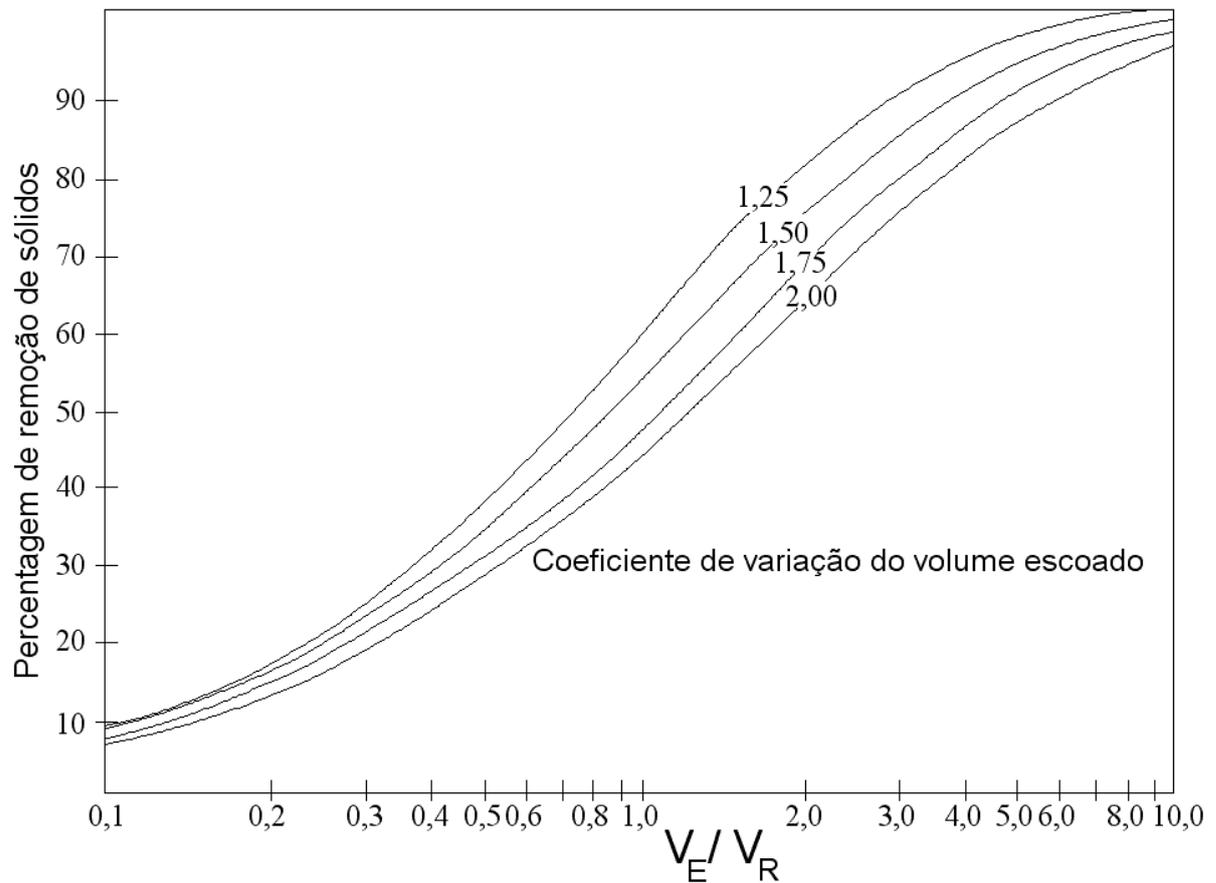


Figura 3.5 - Desempenho médio de longo prazo de uma bacia de detenção sob condições estáticas (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).

Com os valores calculados com o uso das equações 3.15 e 3.16, utiliza-se a Figura 3.4 para calcular a relação V_E/V_R . Com esta relação, utiliza-se o valor do coeficiente de variação do volume escoado e o auxílio da Figura 3.5 para obter o valor da percentagem de remoção dos sólidos na bacia de detenção. Este procedimento é feito para cada fração de sólidos suspensos, com a sua velocidade de sedimentação V_S .

Calculada a eficiência da remoção estática para cada fração de partículas, pode-se calcular a eficiência média estática através de uma média aritmética, denominando-se esta média de R_{DM} .

Após terem sido calculadas as eficiências médias para as condições estáticas e dinâmicas pode-se calcular a eficiência média combinada para as duas situações através da Equação 3.17.

$$R_{DLM} = 1 - (1 - R_{LM}) * (1 - R_{DM}) \quad (3.17)$$

Onde: R_{DLM} é a eficiência média combinada;

R_{LM} é a eficiência média dinâmica;

R_{DM} é a eficiência média estática.

A distribuição granulométrica dos sólidos pode variar bastante de local para local e, inclusive, de evento para evento. Em termos médios, para a avaliação da eficiência anual, pode-se adotar uma distribuição média para um determinado local. Como o objetivo buscado aqui foi comparar a eficiência da remoção de sólidos usando diferentes percentagens de captura, a opção foi adotar a distribuição granulométrica média encontrada no estudo realizado pelo DRISCOLL et al. (1986) nos EUA, cujos valores estão na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Distribuição granulométrica e velocidade de sedimentação (adaptado de DRISCOLL et al., 1986).

Fração	% de TSS	Velocidade média de sedimentação (m/h)
1	0-20	0,009144
2	20-40	0,09144
3	40-60	0,4572
4	60-80	2,1336
5	80-100	19,812

A forma física da bacia de detenção tem grande influência na eficiência da remoção dos poluentes, pois a sedimentação está diretamente relacionada com a taxa de aplicação. O volume da bacia de detenção é determinado pela percentagem de captura que se deseja atingir, restando determinar a sua área superficial e a sua profundidade. Tendo-se o volume e, por algum método, a área, calcula-se a profundidade. Por outro lado, tendo-se o volume e a profundidade, calcula-se a área. Na metodologia utilizada não é imposto nenhum critério específico, portanto adotou-se duas soluções possíveis. Na primeira foi fixada a profundidade da bacia de detenção em 1 metro, na segunda foi adotada como critério, uma área superficial

igual a 2% da área impermeável afluyente a bacia de detenção. A princípio, foi cogitada a adoção de 4 % da área impermeável, que é um dos critérios usados pelo Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, porém este valor acarretaria em profundidades muito pequenas. Para a aplicação da metodologia, foi considerada uma bacia hipotética com área de contribuição superficial de 10 hectares. Foram calculadas as eficiências para o caso maximizado e para os casos em que se deseja a captura de 80, 85 e 90 % do volume anual usando as duas soluções, com diversas percentagens de área impermeável, variando de 10 a 90 %.

4. RESULTADOS

4.1. DESCRIÇÃO GERAL DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO

No município de Porto Alegre existem quatro equações de precipitação intensa utilizadas para o dimensionamento de redes de condução de águas pluviais e estruturas que dependem da precipitação (PORTO ALEGRE, 2005). Estas equações foram obtidas pela análise de dados de precipitação coletados em quatro diferentes locais do município onde estavam instalados os postos pluviográficos. Procurou-se obter os dados destes quatro postos, no entanto só foi possível obter dados dos postos do 8º Distrito de Meteorologia e do Aeroporto Salgado Filho.

Existe um período de tempo, de setembro de 1974 a dezembro de 1987, em que os dados do 8º Distrito quanto os do Aeroporto Salgado Filho se apresentam sem falhas. Assim sendo, foi realizada uma análise de dupla massa (Figura 4.1) com os dados mensais dos dois postos e feito um ajuste de uma curva aos valores experimentais resultando na Equação 4.1. Observa-se, através deste ajuste, que os dois postos apresentam características muito semelhantes em relação ao volume mensal precipitado.

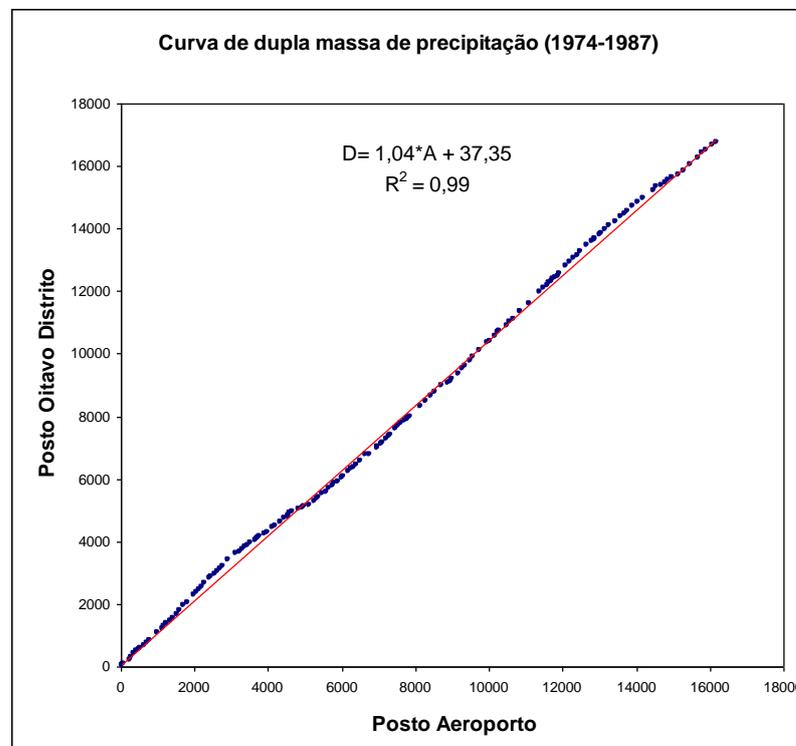


Figura 4.1 - Curva de dupla massa de precipitação.

$$D = 1,04 * A + 37,35 , R^2=0,99 \quad (4.1)$$

Onde: A é o volume precipitado no posto Aeroporto (mm);

D é o volume precipitado no posto 8º Distrito (mm).

Esta semelhança entre os postos pode ser explicada pela predominância de volumes de pequena e média intensidade no volume mensal precipitado e não de eventos de alta intensidade. As precipitações frontais atingem grandes áreas e as precipitações convectivas pequenas áreas. Os dois postos estão afastados o suficiente para terem precipitações convectivas com características diferentes. Como as precipitações de alta intensidade são causadas principalmente por precipitações convectivas é possível entender porque os dois postos apresentam características muito semelhantes em relação ao volume mensal e anual e diferentes em relação as precipitações de alta intensidade. Desta forma foi adotado apenas os dados oriundos do posto do 8º Distrito para esta análise.

Os dados de precipitação compilados e organizados por BEMFICA (2000) estão organizados em planilhas eletrônicas. Cada evento contém a data de ocorrência, o horário com resolução de cinco minutos e volume com resolução de 0,1 mm. Cada um dos eventos foi digitalizado em uma planilha e todos os eventos de um mês estão agrupados em um mesmo arquivo. Estes dados cobrem o período de setembro de 1974 a março de 1998.

Para a execução da análise proposta neste trabalho foi necessário agrupar os dados em um único arquivo de planilha eletrônica, pois uma série de cálculos automatizados através de programação de macros em *Visual Basic* foram feitos com a base nos dados. Assim sendo os dados foram importados e organizados em uma única seqüência, contendo todos os eventos consecutivamente. Os dados brutos para o período totalizam 196.985 linhas, ou intervalos de tempo com precipitação.

Foi adotado um intervalo de tempo de 12 horas sem precipitação para que se configurasse a ocorrência de um novo evento. Utilizando-se este critério, foram individualizados um total de 1.932 eventos a partir dos dados brutos. Para cada evento foi calculado o total precipitado, a duração, a intensidade média e um intervalo de tempo desde o evento anterior considerando os instantes que definem a metade da duração dos eventos. Os valores médios e desvios padrões para estas estatísticas estão na Tabela 4.1. No Anexo I estão tabelados todos os eventos individualizados.

Tabela 4.1: Estatísticas da precipitação no posto do Oitavo Distrito.

	Precipitação (mm)	Duração (h)	Intensidade (mm/h)	Intervalo(h)
Média	15,4	10,7	2,2	107,3
Desvio padrão	19,0	12,4	2,8	93,4

O valor máximo encontrado de volume precipitado foi de 153,2 mm que ocorreu em um intervalo de 59,4 horas com intensidade média de 2,6 mm/h. O evento com maior duração apresentou um valor de 96,8 horas com um volume de 121,3 mm. A maior intensidade média registrada foi de 31,5 mm/h com um volume de 21 mm e duração de apenas 40 minutos.

A maior parte do volume anual de precipitação é causada por eventos de pequeno volume e intensidade (GUO e URBONAS, 1996; CASQA, 2002). No caso de Porto alegre, a análise dos dados mostra que cerca de 54 % dos eventos possuem volume de até 10 milímetros e 73 % de até 20 milímetros equivalendo a 13 % e 30 % do volume, anual respectivamente. A Tabela 4.2 relaciona os dados e a Figura 4.2 mostra um histograma relacionando o número de eventos e o volume precipitado.

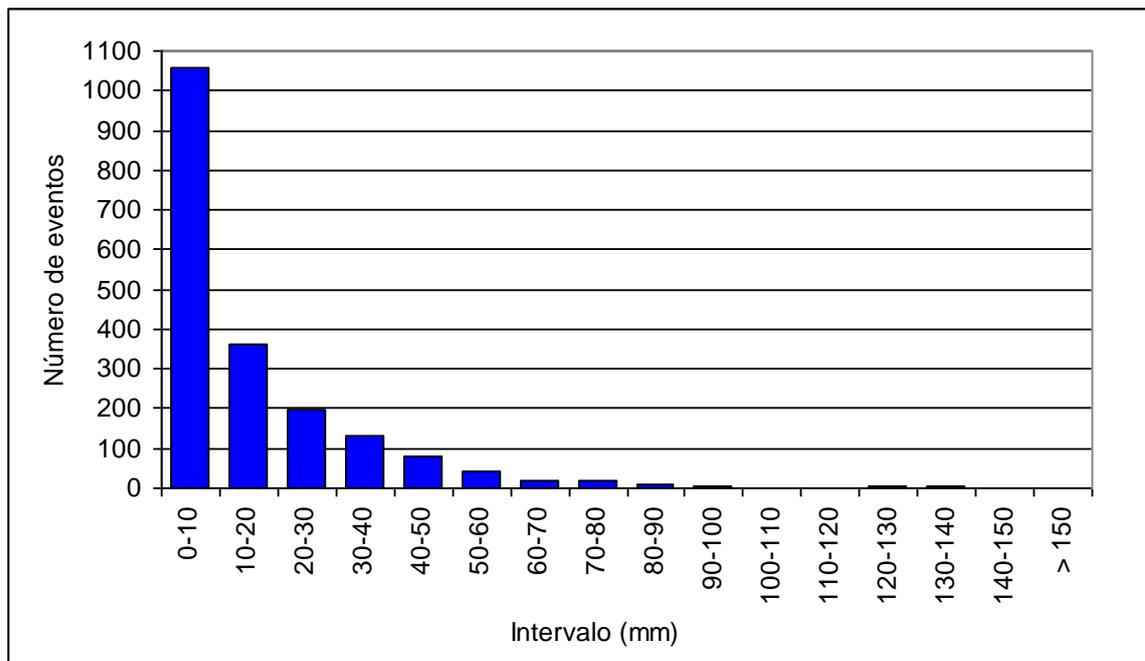


Figura 4.2 - Histograma dos eventos de precipitação.

Tabela 4.2: Frequência dos eventos de precipitação.

Intervalo (mm)	Eventos (%)	Volume (%)
0-10	54,76	13,01
10-20	18,63	17,40
20-30	10,20	16,66
30-40	6,88	15,24
40-50	4,04	11,82
50-60	2,07	7,30
60-70	1,04	4,32
70-80	0,88	4,29
80-90	0,57	3,10
90-100	0,36	2,25
100-110	0,10	0,70
110-120	0,10	0,78
120-130	0,16	1,26
130-140	0,16	1,36
140-150	0,00	0,00
> 150	0,05	0,52

4.2. VOLUME MAXIMIZADO PARA O CONTROLE DA POLUIÇÃO DIFUSA

Para a determinação do volume maximizado, alguns eventos daqueles 1.932 que foram individualizados foram eliminados do processo. Em primeiro lugar, é preciso definir qual é o volume estimado para as perdas iniciais. A literatura cita valores de 1,45 a 2,9 mm e em alguns trabalhos, tal como URBONAS (1996) foi adotado o valor de 2,54 mm (0,1 polegada). O valor adotado, portanto, pode ser considerado um tanto arbitrário. Porém, manteve-se o valor de 2,54 mm para permitir comparações com os resultados obtidos em outros trabalhos.

Também foi necessário eliminar os valores do extremo superior, em termos de volume, para evitar que estes poucos valores tenham um peso significativo sobre os resultados. No trabalho URBONAS (1996), foi utilizado o percentil 99,5. Da mesma forma que para as perdas iniciais, a escolha é um tanto arbitrária. Foi adotado o valor do percentil 99,5.

Da aplicação do primeiro critério restaram 1.457 eventos, e após a aplicação do segundo critério, restaram 1.444 dos 1.932 eventos iniciais. O volume do evento que corresponde ao percentil 99,5 (P_M) é de 96,95 mm, ocorrido no dia 14/11/1993. O tempo de esvaziamento considerado no algoritmo foi de 24 horas.

Com estes eventos foi determinado o volume maximizado utilizando-se o algoritmo conforme o fluxograma da Figura 3.2, para coeficientes de escoamento de 0,1 a 1 com variação de 0,1. Para cada valor de coeficiente de escoamento o volume da bacia de detenção (P_P) foi variado, iniciando em 0 mm, recebendo incrementos de 0,33 % até atingir cerca de 29 % do valor do maior evento, que corresponde a 28,6 mm. As simulações mostraram que volumes de detenção acima de 29 % sempre capturam todo o volume escoado.

Após isto, foi calculada a declividade da reta tangente a cada um dos pontos definidos pela razão de captura e procurados aqueles mais próximos ao valor de 1:1 para encontrar o ponto de maximização. Em seguida foram calculados, através de interpolações lineares, os valores exatos da razão de captura e do volume da bacia de detenção que definem a declividade unitária da reta tangente.

Na Tabela 4.3 estão alguns dos valores calculados para o coeficiente de escoamento igual a 1. Na primeira coluna são apresentados os volumes da bacia de detenção testados, como uma percentagem do volume do maior evento utilizado. A segunda coluna contém a razão de captura. Na terceira coluna estão os valores da declividade da reta tangente. Pode-se observar que o ponto de maximização está entre a percentagem de 23,0 % e 23,3 % do volume do maior evento. O Anexo II contém tabelas com os valores calculados para todos os coeficientes de escoamento utilizados.

Na Figura 4.3 são graficados os valores obtidos através da aplicação do algoritmo de maximização para o coeficiente de escoamento igual a 1. Os valores de razão de captura são os mesmos utilizados na Tabela 4.3, porém o volume da bacia de detenção normalizado (eixo horizontal) é expresso em fração e não em percentagem. A Figura também ilustra a reta tangenciando o ponto de maximização (declividade 1:1).

Tabela 4.3: Resultados do algoritmo de maximização para $C=1$.

P_P (% de P_M)	Razão de captura	Declividade da reta tangente
14,00	0,766	3,03
14,33	0,775	2,92
14,67	0,785	2,82
15,00	0,794	2,76
15,33	0,803	2,67
15,67	0,811	2,54
16,00	0,819	2,44
16,33	0,827	2,34
16,67	0,835	2,21
17,00	0,842	2,11
17,33	0,848	2,05
17,67	0,855	1,98
18,00	0,861	1,91
18,33	0,868	1,87
18,67	0,874	1,82
19,00	0,880	1,75
19,33	0,885	1,68
19,67	0,891	1,64
20,00	0,896	1,61
20,33	0,901	1,53
20,67	0,906	1,45
21,00	0,911	1,39
21,33	0,915	1,34
21,67	0,919	1,29
22,00	0,923	1,19
22,33	0,927	1,12
22,67	0,930	1,05
23,00	0,934	1,01
23,33	0,937	0,96
23,67	0,940	0,90
24,00	0,943	0,85
24,33	0,946	0,82

A Tabela 4.4 contém os valores da razão de captura de volume no ponto de maximização para cada um dos coeficientes de escoamento. Pode-se observar que os valores são maiores para os coeficientes de escoamento menores e variam de 0,993 a 0,936. Esta variação faz com que os volumes maximizados correspondentes formem uma curva não linear (Equação 4.2).

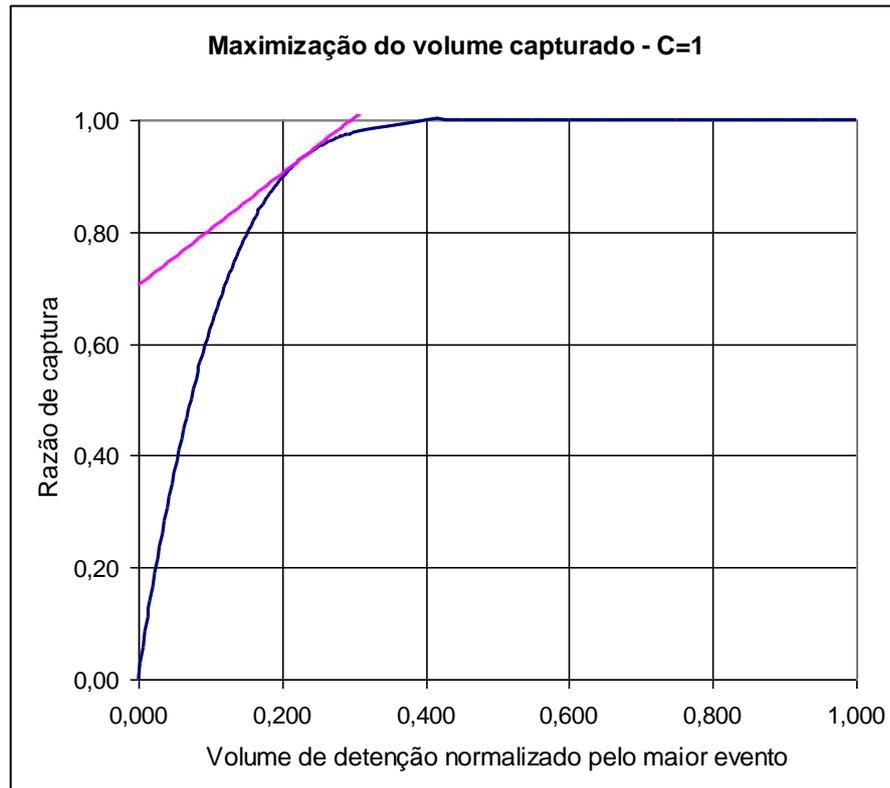


Figura 4.3 - Cálculo do volume maximizado para $C=1$.

Tabela 4.4: Razão de captura dos pontos de maximização.

Coefficiente de escoamento	Razão de captura
0,0	0,000
0,1	0,993
0,2	0,988
0,3	0,988
0,4	0,974
0,5	0,971
0,6	0,964
0,7	0,953
0,8	0,950
0,9	0,937
1,0	0,936

Na Tabela 4.5 estão os volumes maximizados em mm para cada coeficiente de escoamento. Estes valores significam que, para uma bacia de contribuição com determinado coeficiente de escoamento, seja necessário uma bacia de detenção com um volume igual ao produto entre a área de bacia de contribuição e o volume maximizado correspondente, respeitadas as unidades de medida.

Tabela 4.5: Volume maximizado em relação ao coeficiente de escoamento.

Coeficiente de escoamento	Volume maximizado (mm)
0,0	0,0
0,1	3,6
0,2	6,5
0,3	9,6
0,4	11,3
0,5	13,7
0,6	15,7
0,7	17,1
0,8	19,2
0,9	20,3
1,0	22,5

Na descrição da metodologia foi mencionado que a razão de captura pode ser calculada para o volume capturado ou para o número de eventos capturados. Inicialmente foram testadas as duas alternativas, mas a segunda alternativa foi abandonada por causa da irregularidade da curva gerada pelos valores da declividade da reta tangente conforme ilustrado na Figura 4.4. Esta irregularidade faz com que seja difícil de determinar corretamente o ponto onde a declividade seja igual a 1 no caso da razão de captura do número de eventos, embora as tendências das duas curvas sejam semelhantes.

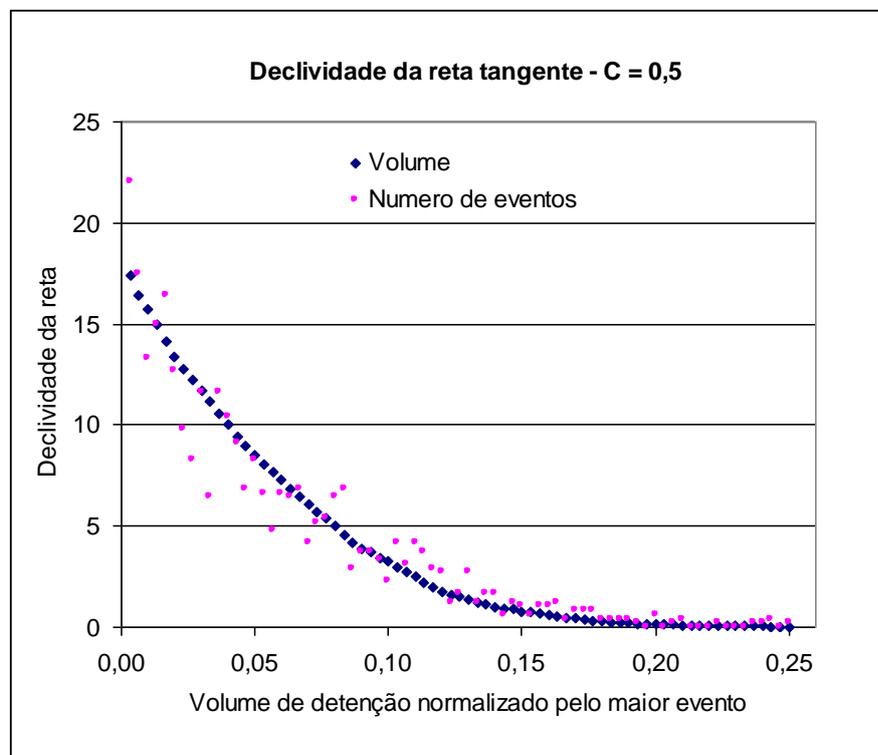


Figura 4.4 - Comparação dos métodos de determinação do ponto de maximização.

Para facilitar o uso dos valores contidos na Tabela 4.5, foram ajustadas duas curvas aos mesmos, resultando em uma reta e uma equação do terceiro grau com coeficientes R^2 de Nash de 0,96 e 0,99, respectivamente (Equação 4.2 e 4.3). Na Figura 4.5 é mostrado um gráfico contendo os pontos calculados e a curvas ajustadas. Pode-se observar que a equação de terceiro grau ajusta-se melhor aos volumes calculados. O ajuste através de uma reta subestima os volumes até o coeficiente de escoamento de 0,7 e superestima os demais volumes, porém esta equação pode ser usada em situações onde não é necessária uma grande precisão.

$$V = 24,3 * C , R^2=0,96 \quad (4.2)$$

$$V = 11,6 * C^3 - 27,4 * C^2 + 38,1 * C , R^2=0,99 \quad (4.3)$$

Onde V é o volume maximizado (mm);
 C é o coeficiente de escoamento.

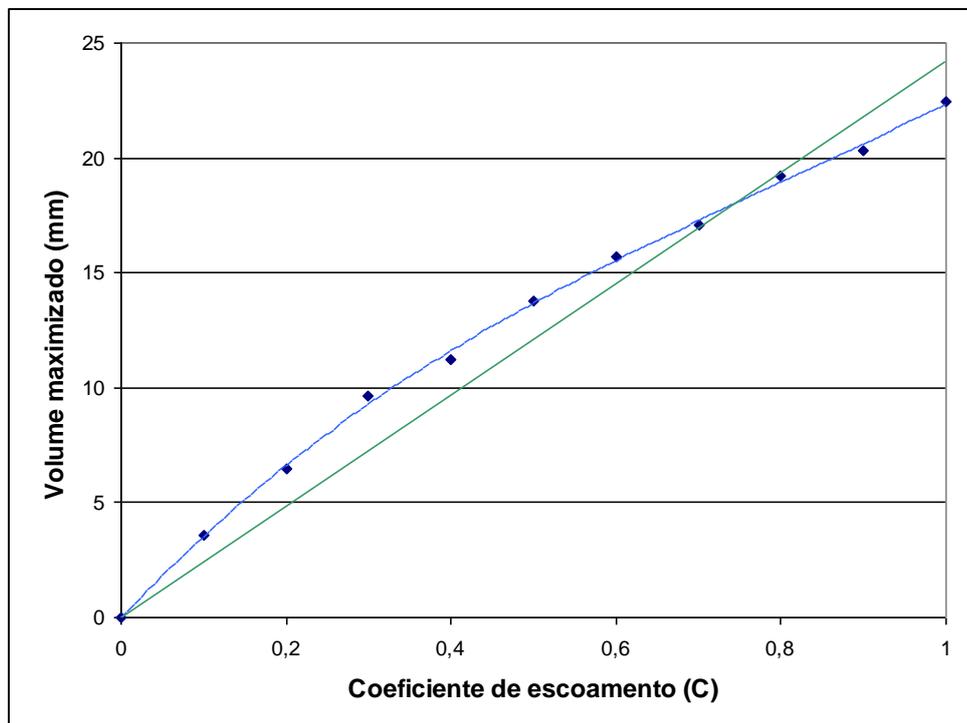


Figura 4.5 - Volume maximizado em relação ao coeficiente de escoamento

Para o caso em que a área de contribuição seja dada em hectares, basta multiplicar o volume maximizado obtido através da Equação 4.2 ou 4.3 por 10 para obter o volume de

detenção em m^3 . O mesmo é válido para todas as outras equações cujos resultados sejam dados em mm.

Foram ajustadas também aos valores maximizados equações correlacionando a densidade habitacional e a impermeabilização. Utilizando-se a Equação 2.16 e a Tabela 2.2, foram obtidas duas curvas relacionando o volume maximizado com a fração impermeável e a densidade habitacional, respectivamente.

Na Figura 4.6 está plotada a curva relacionando o volume maximizado com a fração impermeável. Também foi ajustado um polinômio de terceiro grau aos dados (Equação 4.4), que se ajusta muito bem.

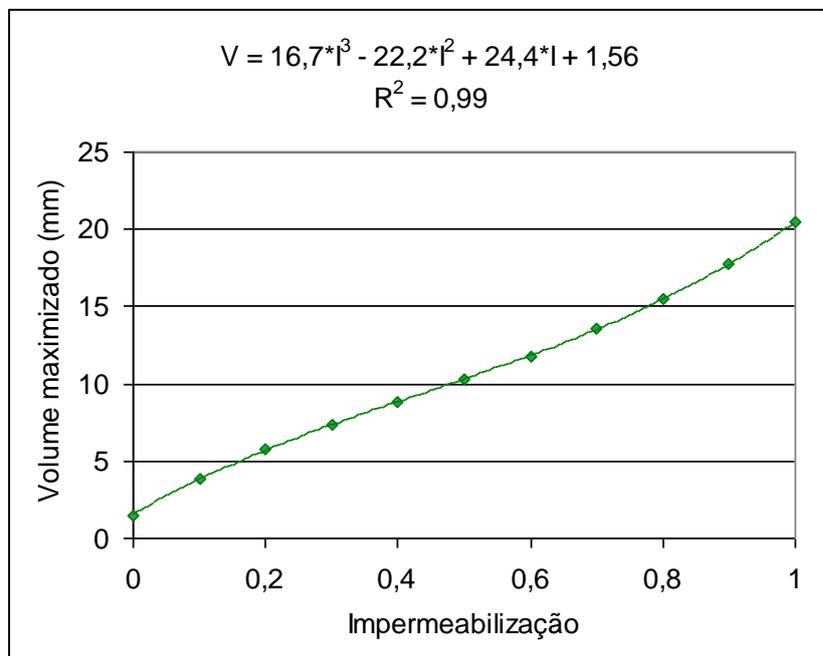


Figura 4.6 - Volume maximizado em relação a impermeabilização.

$$V = 16,7 \cdot I^3 - 22,2 \cdot I^2 + 24,4 \cdot I + 1,56 \quad , \quad R^2=0,999 \quad (4.4)$$

Onde: V é o volume maximizado (mm);

I é a fração impermeável.

A Figura 4.7 mostra a curva relacionando o volume maximizado com a densidade habitacional. Para a obtenção desta relação foi feita uma composição do volume maximizado

versus fração impermeável com fração impermeável *versus* densidade habitacional. Neste caso, foi ajustada uma equação logarítmica aos valores relacionando o volume maximizado com densidade habitacional, desde que a densidade seja maior que 25 hab/ha (Equação 4.5).

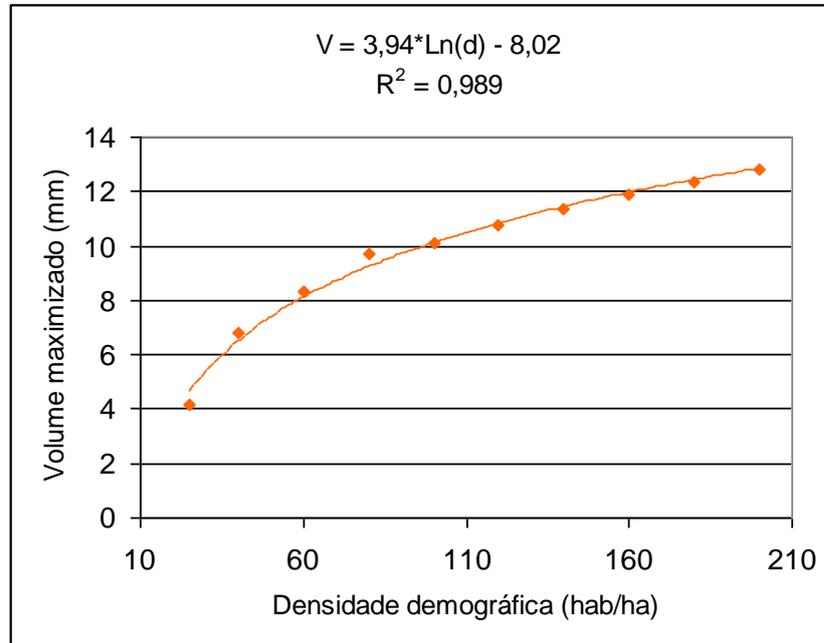


Figura 4.7 - Volume maximizado em relação a densidade habitacional.

$$V = 3,94 * \ln(d) - 8,02, R^2=0,989 \quad (4.5)$$

Onde: V é o volume maximizado (mm);

d é a densidade habitacional (hab/ha).

Como mencionado anteriormente, a maior parte do volume anual provém de eventos com pequeno período de retorno, da ordem de meses a dois anos. Assim sendo, pode-se lançar a hipótese de que não seja necessário analisar séries longas de precipitação para determinar o volume a ser capturado para o controle da poluição difusa. A verificação desta hipótese seria importante, pois nem sempre estão disponíveis séries longas de precipitação com todos os eventos ocorridos no período.

Decidiu-se então calcular o volume maximizado utilizando diferentes períodos, dividindo a série total que contém 284 meses de dados. Primeiro a série foi dividida em 2, sub-séries com 142 meses cada. Cada uma das 2 sub-séries resultantes foi dividida novamente em 2, gerando 4 sub-séries de 71 meses e por fim cada uma das 4 sub-séries resultantes foi

dividida em 2, gerando 4 sub-séries de 35 e 4 sub-séries de 36 meses. Foi calculado para cada sub-série o valor maximizado referente ao coeficiente de escoamento 0,5. A Tabela 4.6 resume os resultados encontrados.

Tabela 4.6: Volume maximizado para diferentes períodos de tempo.

Período	Meses	Volume maximizado	Diferença max. %	Maior evento	Média intervalos	Desvio padrão	Diferença med. %
9/74-4/98	284	13,7	-	97,0	13,7	-	-
9/74-6/86	142	13,5	-1,8	96,5	13,2	0,4	-3,7
7/86-4/98	142	13,0	-5,5	82,8			
9/74-7/80	71	10,5	-23,8	55,1	12,2	1,4	-10,9
8/80-6/86	71	13,6	-0,9	105,9			
7/86-5/92	71	13,0	-5,6	82,8			
6/92-4/98	71	11,9	-13,4	73,4			
9/74-7/77	36	10,1	-26,9	55,0	11,3	1,1	-17,9
8/77-7/80	35	9,8	-28,4	48,1			
8/80-6/83	35	12,7	-7,3	83,8			
7/83-6/86	36	12,2	-10,9	81,2			
7/86-5/89	35	10,6	-22,5	65,0			
6/89-5/92	36	12,6	-8,1	76,2			
6/92-4/95	35	11,4	-17,0	70,9			
5/95-4/98	36	10,7	-22,3	60,4			

A primeira coluna descreve o período dos dados utilizados. A segunda coluna contém o número de meses utilizados em ordem decrescente. Na terceira coluna estão os valores de volume maximizado para cada período. Na quarta coluna estão os valores correspondentes as diferenças percentuais entre o valor maximizado encontrado em cada sub-série em relação ao valor maximizado de toda a série. A quinta coluna contém os valores dos maiores eventos de precipitação (P_M) utilizados no cálculo do valor maximizado em cada intervalo. Na sexta coluna estão os valores médios dos volumes maximizados calculados para as divisões do intervalo total. O primeiro valor corresponde ao intervalo total de 284 meses, o segundo valor corresponde a média dos valores maximizados dos dois intervalos de 142 meses, o terceiro a média dos valores maximizados dos quatro intervalos de 71 e o último é a média dos oito intervalos restantes. A sétima coluna é análoga a anterior, porém ao invés da média, os valores são os desvios padrão. A oitava coluna contém os valores das diferenças percentuais

entre o valor maximizado correspondente ao período completo e cada uma das médias da coluna seis.

A Figura 4.8 mostra os valores de volume maximizado em relação ao número de meses utilizados. A Figura 4.9 apresenta os valores de volume maximizado em relação ao maior evento considerado no algoritmo (P_M), que corresponde ao percentil 99,5 dos eventos.

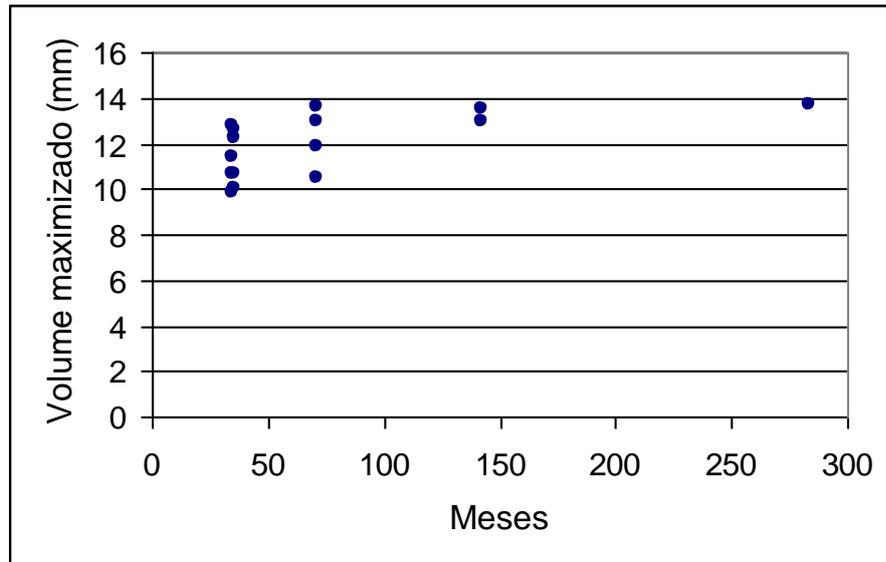


Figura 4.8 - Volumes maximizados para diferentes durações de séries – $C=0,5$.

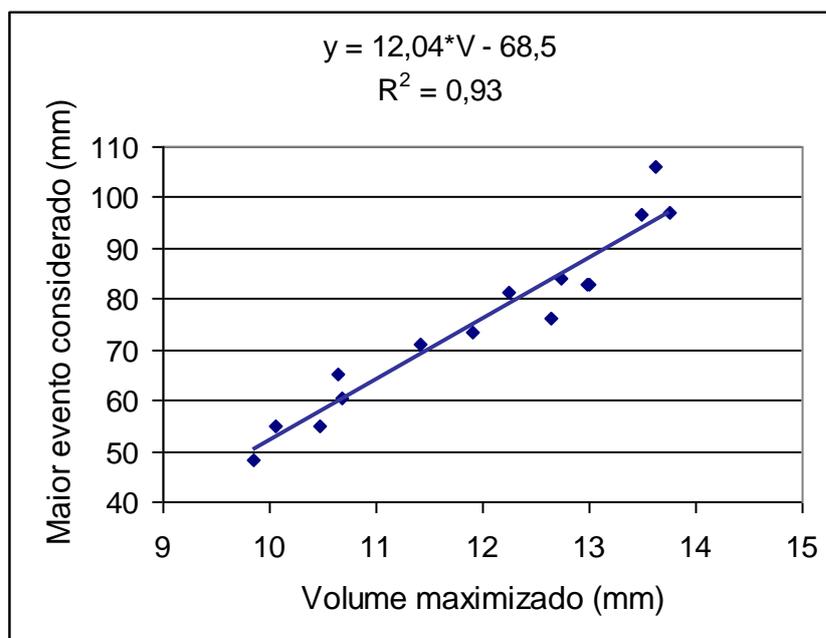


Figura 4.9 - Volumes maximizados em relação ao maior evento considerado – $C=0,5$.

Através da Figura 4.9 pode-se observar que existe uma forte correlação linear entre o volume maximizado e o valor do maior evento considerado (P_M). Isto mostra que mesmo que sejam eliminados os maiores eventos acima do 99,5 percentil, ainda assim os grandes eventos remanescentes têm um grande peso na determinação do volume maximizado.

Em todos os intervalos menores que 284 meses o volume maximizado encontrado foi inferior aquele considerando toda a série. Sendo que a menor diferença (-0,9 %) ocorreu em uma das sub-séries de 71 meses e não em uma de 142. Justamente neste intervalo encontram-se alguns dos maiores eventos e o maior evento considerado (P_M) foi de 105,9 mm superior ao valor de 96,95 que foi usado para os 284 meses.

Em termos médios, as diferenças não foram muito grandes. Através da divisão ao meio da série, a diferença média dos valores maximizados foi de apenas -3,7 %. Dividindo-se em 4 foi de -10,9 % e com períodos de 35 e 36 meses a diferença média foi de -17,9 % que não é muito considerando que a sub-série é 8 vezes menor em relação a toda a série. A menor diferença com uma sub-série de 35 meses foi de -7,3 % onde o maior evento considerado foi de 83,8 mm que é 13,5 % menor que os 97,0 mm considerados na série completa.

O valor médio diminui com a diminuição do número de meses das sub-séries. Dividindo o volume maximizado da série completa pelos valores médios de cada sub-série foram obtidos valores conforme a Tabela 4.7. Estes valores representam o quanto o volume maximizado da série completa é maior em relação aos valores médios de cada sub-série. A estes valores foi ajustada uma curva logarítmica. Esta curva pode ser usada como um fator de correção em séries com períodos entre 35 e 284 meses de dados. A Figura 4.10 contém um gráfico mostrando os pontos calculados e a curva ajustada.

Tabela 4.7: Razão entre médias da série completa e das sub-séries.

Meses	Razão entre médias
284	1,0
142	1,038
71	1,123
35	1,218

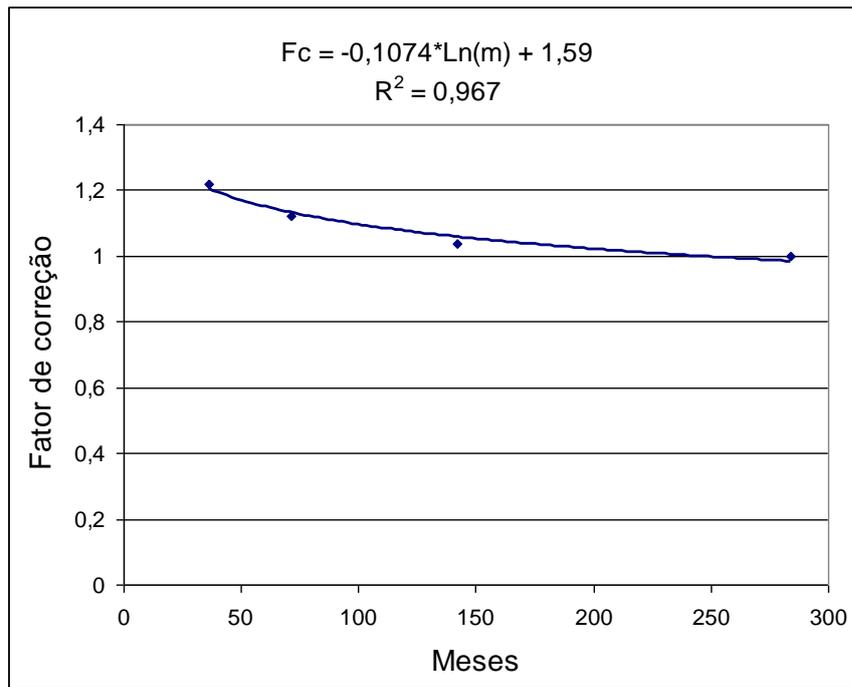


Figura 4.10 – Fator de correção para períodos entre 35 e 284 meses.

Através da análise das sub-séries, pode-se especular que se for utilizado uma série da ordem de três anos que contenha alguns dos maiores eventos em termos de volume, a diferença dos resultados em relação a uma série maior não será muito grande. Esta especulação não pode ser prontamente generalizada. Para poder afirmar isto seria necessário a análise de muitas séries para verificar se este comportamento se repete com elas. Os resultados com séries entre 35 e 284 meses podem ainda ser corrigidos usando o fator de correção ou de “segurança” calculado através da Tabela 4.7, ou da equação ajustada.

4.3. VOLUMES DE CONTROLE BASEADO EM PERCENTAGEM DO VOLUME ANUAL

URBONAS e STAHR (1993), realizaram uma análise da sensibilidade da eficiência da remoção de poluentes em relação ao volume anual capturado. Nesta análise foram calculadas as eficiências da remoção de poluentes para volumes inferiores e superiores ao volume maximizado. Para o volume maximizado a eficiência foi de 88 %, para um volume equivalente a 70 % do maximizado a redução na eficiência foi de apenas 2 % e para atingir uma eficiência de 90 % foi necessário aumentar o volume capturado em mais de 200 %. Esta

análise mostrou de que uma redução de volume em relação ao volume maximizado não reduz significativamente a eficiência na remoção de poluentes.

Por esta razão que alguns estados americanos adotam percentagens do volume anual ao invés do volume maximizado como parâmetro de projeto para controle da poluição difusa. Pode-se citar o estado da Geórgia (AMEC, 2001) que adota um volume igual a 85 % do volume anual, enquanto que em Denver (UDFCD, 2002) é adotado o valor de 80 % e em Maryland utiliza-se 90 %.

Assim sendo, decidiu-se calcular as volumes correspondentes a 80, 85 e 90 % de captura e avaliar a eficiência dos mesmos utilizando-se a metodologia descrita por DRISCOLL et al. (1986). O cálculo do volume capturado foi feito com uma metodologia semelhante àquela adotada para o cálculo do volume maximizado, com exceção de que o volume procurado é aquele correspondente à percentagem de captura desejada e não ao volume maximizado. Com os dados da Tabela 4.3, por exemplo, pode-se calcular, através de interpolação linear com os percentuais de captura mais próximos, os volumes de captura de 80 a 90 % para o coeficiente de escoamento igual a 1. A Tabela 4.8 apresenta os volumes encontrados para cada valor de coeficiente de escoamento para as três percentagens citadas acima.

Tabela 4.8: volumes de captura em relação ao coeficiente de escoamento.

C. de escoamento	80 % (mm)	85 % (mm)	90 % (mm)
0,0	0,0	0,0	0,00
0,1	1,47	1,68	1,95
0,2	2,94	3,36	3,90
0,3	4,41	5,04	5,85
0,4	5,88	6,72	7,80
0,5	7,35	8,40	9,75
0,6	8,82	10,1	11,7
0,7	10,3	11,8	13,6
0,8	11,8	13,4	15,6
0,9	13,2	15,1	17,5
1,0	14,7	16,8	19,5

A Figura 4.11 mostra as curvas correspondentes. Pode-se verificar que os valores se ajustam perfeitamente a retas (equações 5.6, 5.7 e 5.8), pois são percentagens do volume médio anual, ao contrário do volume maximizado que é melhor ajustado por um polinômio.

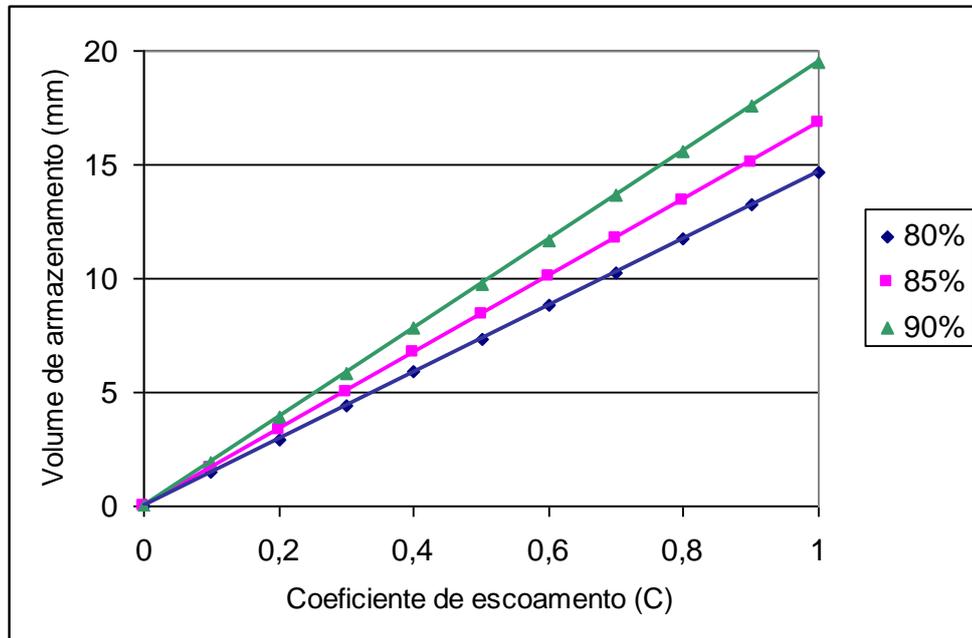


Figura 4.11 - Volumes de captura em relação ao coeficiente de escoamento.

$$V_{80} = 14,7 * C \quad (5.6)$$

$$V_{85} = 16,8 * C \quad (5.7)$$

$$V_{90} = 19,5 * C \quad (5.8)$$

Onde: V_{80} é o volume de armazenamento para capturar 80 % do volume anual (mm);

V_{85} é o volume de armazenamento para capturar 85 % do volume anual (mm);

V_{90} é o volume de armazenamento para capturar 90 % do volume anual (mm);

C é o coeficiente de escoamento.

As equações para o cálculo dos volumes de armazenamento em função da fração impermeável e da densidade habitacional são as seguintes:

$$V_{80} = 12,6 * I^3 - 11,5 * I^2 + 11,4 * I + 0,588 \quad , R^2=0,99 \quad (5.9)$$

$$V_{85} = 14,4 * I^3 - 13,1 * I^2 + 13,0 * I + 0,672 \quad , R^2=0,99 \quad (5.10)$$

$$V_{90} = 16,7 * I^3 - 15,2 * I^2 + 15,1 * I + 0,78 \quad , R^2=0,99 \quad (5.11)$$

$$V_{80} = 2,29 * \ln(d) - 5,52 \quad , R^2=0,98 \quad (5.12)$$

$$V_{85} = 2,61 * \ln(d) - 6,31 \quad , R^2=0,98 \quad (5.13)$$

$$V_{90} = 3,03 * \ln(d) - 7,32 \quad , R^2=0,98 \quad (5.14)$$

Onde I é a fração impermeável;

d é a densidade habitacional (hab/ha).

4.4. CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DOS POLUENTES

Uma vez determinados os volumes de controle para o caso maximizado e para os casos em que se deseja a captura de 80, 85 e 90 % do volume anual, o passo seguinte foi a verificação da eficiência da remoção dos poluentes através da sedimentação para cada um destes casos. Para esta análise, optou-se pela utilização da metodologia descrita por DRISCOLL et al. (1986).

Os resultados em percentagem de remoção de sólidos, para bacias de retenção com área de 2 % da área impermeável e profundidade de 1 metro estão na Tabela 4.9 e 4.10, respectivamente. No Anexo III estão contidas as planilhas de cálculo das eficiências da remoção de poluentes.

Tabela 4.9: Eficiência na remoção de poluentes pelo critério de 2 % da área impermeável.

Percentagem de captura	Percentagem de área impermeável					Média
	10	20	50	70	90	
80	80,61	81,84	82,92	82,75	82,11	82,04
85	82,63	83,73	84,70	84,55	83,97	83,91
90	84,42	85,41	86,28	86,14	85,63	85,58
Maximizado	92,43	92,26	91,85	90,66	89,06	91,25

Tabela 4.10: Eficiência na remoção de poluentes pelo critério de 1 metro de profundidade.

Percentagem de captura	Percentagem de área impermeável					Média
	10	20	50	70	90	
80	79,42	79,42	79,42	79,42	79,42	79,42
85	82,26	82,26	82,26	82,26	82,26	82,26
90	84,75	84,75	84,75	84,75	84,75	84,75
Maximizado	93,67	93,52	91,90	90,48	89,01	91,72

Para o caso de 80 % de captura e área superficial igual 2% da área impermeável, a área superficial variou de 200 m² a 1800 m², com profundidades de 0,811 m a 0,591 m. Para o caso de 80 % de captura e 1 m de profundidade, a área superficial variou de 162 m² a 1064 m². Para os casos de 85 e 90 % de captura e área superficial igual a 2 % da área impermeável, as profundidades quase sempre foram inferiores a 1 metro, exceto no caso em que a área impermeável é de 10 % com captura de 90 %. Já no caso maximizado, as profundidades variam de 1,94 m a 0,98 m, sendo que estes valores não são adequados em situações práticas, pois são muito elevados.

A eficiência variou um pouco em torno da média em relação à percentagem de área impermeável no primeiro critério. Esta variação se deve a diferenças na eficiência da remoção dinâmica causadas pela variação das taxas de aplicação para as percentagens de captura de 80 a 90 %. No caso maximizado além da variação da eficiência dinâmica ocorre variação na eficiência estática.

No segundo critério, tanto a eficiência dinâmica quanto a estática não variam com a percentagem de área impermeável afluente ao reservatório, para as percentagens de captura de 80 a 90 %. Isso ocorre, pois não há variação na taxa de aplicação neste caso, devido à linearidade da relação entre o coeficiente de escoamento, a área da bacia de detenção (pois a profundidade é constante) e o volume escoado. Já para o caso maximizado ocorre variação da eficiência dinâmica, pois a taxa de aplicação varia por causa da não linearidade da relação volume capturado e coeficiente de escoamento.

Como esperado, as eficiências aumentam à medida que se aumenta a percentagem de captura, para ambos os critérios adotados. No primeiro caso, as eficiências foram maiores nas

percentagens de 80 a 90 % de captura do que no segundo caso. Já na situação de volume maximizado, a eficiência média foi menor no primeiro caso do que no segundo. Isto pode ser explicado pelas taxas de aplicação. No primeiro caso, as taxas de aplicação são menores nas percentagens de captura de 80 a 90 % do que no segundo caso. Na situação de volume maximizado, a taxa de aplicação é menor no segundo caso em relação ao primeiro e, em consequência, a eficiência é maior no segundo caso.

4.5. CÁLCULO DOS CUSTOS UNITÁRIOS E DA RELAÇÃO BENEFÍCIO / CUSTO DAS BACIAS DE DETENÇÃO

Para a determinação dos custos, foi adotada a mesma bacia de amortecimento fictícia usada para o cálculo da eficiência da remoção de sólidos. A bacia tem seu volume obtido através da escavação do solo, sendo o fundo e os taludes cobertos com grama. Ela possui formato retangular, com o lado maior igual a duas vezes o lado menor, e possui taludes com inclinação de 1:2. Os serviços necessários para sua execução são típicos de obras de drenagem executadas em Porto Alegre, sendo os seguintes: escavação mecânica, escavação manual, transporte do material escavado até 2 km, transporte por km excedente, plantio de grama de campo, execução de cerca e dispositivos de entrada e saída. Os preços dos serviços foram obtidos das tabelas oficiais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, com data base de agosto de 2008 (PORTO ALEGRE, 2009). No anexo IV estão listados os serviços e os respectivos preços.

Nestas estimativas não foram considerados os custos de aquisição do terreno onde seria implantada a bacia, pois estes apresentam grandes variações dependendo da localização na cidade. Porém, o objetivo destas estimativas não é obter o custo real das bacias e sim um valor representativo para a comparação entre as alternativas.

Foram calculados os custos por metro cúbico para o caso maximizado e para os casos em que se deseja a captura de 80, 85 e 90 % do volume anual, com diversos coeficientes de escoamento variando de 0,1 a 0,9. Os resultados em R\$/m³, para bacias de detenção com área de 2 % da área impermeável e profundidade de 1 metro estão apresentados na Tabela 4.11 e 4.12, respectivamente.

Tabela 4.11: Custo unitário das bacias pelo critério de 2 % da área impermeável (R\$/m³).

Percentagem de captura	Percentagem de área impermeável					Média
	10	20	50	70	90	
80	139,38	124,90	108,68	97,81	85,69	111,29
85	127,16	114,26	99,88	90,32	79,69	102,26
90	115,33	103,94	91,35	83,06	73,86	93,51
Maximizado	82,56	76,84	72,55	69,94	66,60	73,70

Tabela 4.12: Custo unitário das bacias pelo critério de 1 metro de profundidade (R\$/m³).

Percentagem de captura	Percentagem de área impermeável					Média
	10	20	50	70	90	
80	132,98	110,16	87,06	78,82	72,36	96,28
85	125,06	104,62	83,84	76,39	70,53	92,09
90	117,20	99,10	80,61	73,94	68,68	87,91
Maximizado	93,91	83,53	72,97	69,23	66,25	77,18

Pode-se observar que os custos unitários tendem a diminuir com o aumento da percentagem de captura e, conseqüentemente, do volume a ser armazenado. Em parte isto se deve à diluição de custos, pois os serviços de execução de cerca e dispositivos de entrada e saída, que têm um valor unitário caro em relação aos outros, tendem a ter menor peso à medida que o volume aumenta.

As variações de custo unitário em torno da média foram grandes, em relação a percentagem de área impermeável, em todos os casos, mas principalmente quando a percentagem de captura é de 80 %. Isto também pode ser atribuído ao efeito de diluição dos custos, pois quanto maior o coeficiente de escoamento, maior o volume de chuva a armazenar. Pode-se também perceber que a profundidade tem influência nos custos, pois tanto no critério de área de 2% quanto no de altura fixa de 1 metro, os volumes a armazenar são os mesmos, mas os custos unitários são diferentes, sendo maiores quando a profundidade for menor.

Os custos por m³ de bacia de detenção não podem ser simplesmente comparados entre si, pois as percentagens de captura e, conseqüentemente as eficiências de remoção dos poluentes são diferentes entre elas. Procurou-se criar então um índice que pudesse ser usado para comparar as diferentes eficiências apresentadas pelas bacias e seus respectivos custos, sendo algo análoga ao benefício *versus* custo da economia. Este índice foi calculado dividindo-se a eficiência da remoção de poluentes, que pode ser considerado um benefício, pelo se respectivo custo por m³.

Os resultados em percentagem de remoção, divididos por R\$/m³, para bacias de detenção com área de 2 % da área impermeável e profundidade de 1 metro são apresentados na Tabela 4.13 e 4.14, respectivamente.

Tabela 4.13: Relação remoção/custo pelo critério de 2 % da área impermeável.

Percentagem de captura	Percentagem de área impermeável					Média
	10	20	50	70	90	
80	0,58	0,66	0,76	0,85	0,96	0,76
85	0,65	0,73	0,85	0,94	1,05	0,84
90	0,73	0,82	0,94	1,04	1,16	0,94
Maximizado	1,12	1,20	1,27	1,30	1,34	1,24

Tabela 4.14: Relação remoção/custo pelo critério de 1 metro de profundidade.

Percentagem de captura	Percentagem de área impermeável					Média
	10	20	50	70	90	
80	0,60	0,72	0,91	1,01	1,10	0,87
85	0,66	0,79	0,98	1,08	1,17	0,93
90	0,72	0,86	1,05	1,15	1,23	1,00
Maximizado	1,00	1,12	1,26	1,31	1,34	1,21

Através destes resultados, verifica-se que os índices aumentam à medida que se aumenta a percentagem de captura e a medida que se aumenta a área impermeável. Os índices

foram piores nas percentagens de 80 a 95 % de captura no caso da área da bacia equivalente a 2 % da área impermeável, ao contrário do que se poderia esperar a princípio. Isto ocorre, pois embora a eficiência seja maior neste caso, o custo unitário também é maior.

O valor médio do índice foi praticamente igual para o volume maximizado nos dois casos e maior em relação às percentagens de 80 a 90 % de captura. Isto significa que, dentro dos critérios adotados neste estudo, a solução ideal é adotar o volume maximizado para o controle da poluição difusa, pois tem a melhor eficiência de remoção de poluentes e o melhor índice de benefício. Além disto, existem os benefícios ambientais adicionais de se lançar menos carga poluente nos corpos hídricos, que são difíceis de avaliar e não estão computados neste estudo.

4.6. RECOMENDAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DAS BACIAS DE AMORTECIMENTO EM PORTO ALEGRE

Da análise dos resultados expostos no item anterior, observa-se que a relação benefício/custo é mais favorável para o caso do volume de controle maximizado. Portanto, é recomendável que se adote este critério para o dimensionamento das bacias de retenção para controle qualitativo.

Para locais onde a bacia de contribuição é menor que 100 ha, o volume total da bacia de amortecimento deve ser igual ao volume necessário para o controle de cheias mais o volume necessário para o controle qualitativo. Estes volumes são calculados através das equações 2.13 e 4.4, respectivamente. Para a aplicação destas equações é necessário que se conheça a percentagem de área impermeável na bacia contribuinte. Recomenda-se também que a altura da bacia seja tal que o volume para controle qualitativo ocupe um metro de altura. As estruturas de saída (orifícios e vertedores) devem ser dimensionadas de forma a controlar as vazões de pico e fazer com que o tempo de esvaziamento do volume de controle qualitativo seja de pelo menos 24 horas.

Para o caso de bacias de contribuição maiores que 100 ha, o procedimento é semelhante, porém primeiramente estima-se o volume de controle de cheias através da Equação 2.11 e após verifica-se este volume através da aplicação de métodos de geração e propagação de hidrogramas na bacia de amortecimento.

Na Tabela 4.15 é feita uma comparação dos volumes necessários, segundo as recomendações acima, para o controle de cheias e de qualidade das águas, em função da fração de impermeabilização. Os volumes são para uma área de contribuição de 1 ha, mas os percentuais de aumento não dependem da área. Pode-se observar que, à medida que aumenta a impermeabilização, o volume de controle de cheias é maior comparativamente ao de controle da qualidade das águas. O aumento médio de volume, quando é feito o controle da qualidade, é de 55 %.

Tabela 4.15: Comparação de volumes de detenção para controle de cheias e da qualidade em Porto Alegre.

Coefficiente de impermeabilização	Controle de cheias (m ³)	Controle da qualidade (m ³)	Aumento de volume (%)
0,1	43	38	89
0,2	85	57	67
0,3	128	73	58
0,4	170	88	52
0,5	213	103	48
0,6	255	118	46
0,7	298	135	45
0,8	340	154	45
0,9	383	177	46
1,0	425	205	48
		Média	55

4.7. COMPARAÇÃO COM CRITÉRIOS UTILIZADOS EM OUTROS LOCAIS

Procurou-se encontrar quais os critérios utilizados para o controle da poluição difusa em locais que tivessem características semelhantes, em relação à precipitação, com Porto Alegre. Na revisão bibliográfica foram discutidos os critérios usados em alguns locais com características de precipitação semelhantes a Porto Alegre.

Para fins de comparação com Porto Alegre, foram calculados os volumes necessários de captura usando os critérios de cada um dos locais. Adotou-se um coeficiente de escoamento de 0,5 e uma área de contribuição de 1 hectare. Na Tabela 4.16 estão os volumes encontrados.

Tabela 4.16: Locais e volume necessários de amortecimento.

Local	Volume (m³)
Virginia	127,00
Carolina do Norte	127,00
Knoxville critério 2	146,05
Knoxville critério 3	106,45
Porto Alegre	137,46
Denver	52,38
Geórgia	152,40

Embora haja diferenças nos valores calculados para os estados da Virginia, North Carolina, Tennessee e Porto Alegre, eles podem ser considerados semelhantes. Isto já era esperado para os três estados, pois eles pertencem às zonas de precipitação com estatísticas semelhantes. O valor encontrado para Denver foi bem menor que os outros, devido ao baixo volume de precipitação que ocorre no local. Para o estado de Georgia o volume calculado foi maior, pois ele se encontra em uma zona de maior precipitação em comparação aos três primeiros estados americanos e Porto Alegre.

O valor encontrado para Porto Alegre ficou dentro do intervalo de valores dos três primeiros estados. Isto é um indício de que mesmo fora dos Estados Unidos da América as estatísticas anuais de precipitação podem ser usadas para agrupar regiões semelhantes em termos de volume da captura necessário para o controle da poluição difusa. Outros estudos seriam necessários para confirmar tal suposição. Caso fosse confirmada, em locais em que não existem estudos sobre poluição difusa, mas se conhecem as estatísticas de precipitação, poderiam ser adotados os mesmos volumes de captura que são utilizados em locais em que foram feitos estudos específicos e que possuem estatísticas semelhantes.

4.8. ANÁLISE DE BACIAS DE DETENÇÃO EM PORTO ALEGRE

No município de Porto Alegre existem algumas bacias de amortecimento, que foram projetadas com o intuito de controlar as vazões de pico do escoamento superficial para controlar alagamentos.

Algumas destas bacias foram construídas pelo próprio município e outras foram construídas em empreendimentos particulares, por exigência do Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Tendo sido determinados os critérios de dimensionamento para o controle da poluição difusa, procurou-se analisar algumas bacias de amortecimento existentes em Porto Alegre, para verificar se estas poderiam ser modificadas de modo a permitir algum controle desta forma de poluição. BELL e CHAMPAGNE (1998) descrevem um caso em que por exigência do município de Alexandria nos USA, uma grande bacia de detenção projetada para um período de retorno de 100 anos foi convertida, através de pequenas modificações e aproveitando parte do seu volume, para uma bacia de detenção com controle da qualidade da água pluvial. Em outro artigo, DREHER (1998) escreveu que bacias de detenção podem ter sua capacidade de remover poluentes melhoradas através da adoção de algumas medidas. Entre estas medidas estão a modificação das estruturas de saída de modo a aumentar o tempo de esvaziamento, a utilização de vegetação de banhado no fundo das bacias, a troca de pavimentos dos canais de baixa vazão por vegetação, etc.

Para permitir a análise, foram coletadas as principais informações a respeito das bacias de amortecimento, quais sejam: localização, volume de armazenamento, área de contribuição e coeficiente de escoamento da bacia de contribuição.

De posse destas informações, foram calculados os volumes necessários para a captura de 80, 85, 90 % do volume anual e captura maximizada, e estes foram então comparados com o volume real das bacias de detenção. Na Tabela 4.17 estão as informações e os volumes para controle da poluição difusa calculados para estas bacias.

Tabela 4.17: Características de algumas bacias de detenção em Porto Alegre e os volumes de controle da poluição difusa.

Local	Área (ha)	Volume (m ³)	C	V (m ³)	V ₉₀ (m ³)	V ₈₅ (m ³)	V ₈₀ (m ³)
P. Germânia	167,66	28.279	0,70	28.934	22.885	19.716	17.252
Praça 931	22,57	1.143	0,24	1.745	1.056	910	796
Praça 2721	29,26	601	0,45	3.707	2.567	2.212	1.935
Praça 943	11,61	1.043	0,65	1.904	1.471	1.267	1.109
Mor Figueira	2,66	60	0,60	413	311	268	234
Julio Andreatta	50,64	3.956	0,40	5881	3.949	3403	2977
P. Marinha	171,98	12.337	0,50	23.512	16.768	14.446	12.640

Pode-se verificar que para todas as bacias de amortecimento o volume maximizado é maior que o volume disponível, e na maioria das bacias pelo menos 50 % maior.

Em duas bacias, da Praça 2721 e do loteamento Moradas da Figueira o volume disponível é pelo menos três vezes menor que o requerido para 80 % de captura, inviabilizando totalmente a sua adaptação.

Estas comparações mostram que nenhuma das bacias pode ser facilmente adaptada para controlar a poluição difusa. Seriam necessárias intervenções para aumentar o volume delas de modo a não comprometer a sua capacidade de controlar as vazões de pico, além da modificação das estruturas de saída. Além disso, existem outros fatores complicadores.

A bacia de amortecimento do loteamento Parque Germânia foi construída dentro de uma área de parque onde está localizado um dos braços do arroio da Areia. Este braço escoar por dentro da bacia de amortecimento, logo as estruturas de saída devem permitir o escoamento total da vazão do arroio quando não há precipitação, o que é conflitante com estruturas de saída para um tempo de esvaziamento de 24 horas necessário para o controle da poluição difusa.

Na Praça Julio Andreatta localiza-se uma bacia de amortecimento construída sobre um conduto forçado que conduz águas pluviais provenientes de cotas superiores a 9 m diretamente ao lago Guaíba. Quando a carga hidráulica do conduto atinge um determinado

patamar, parte da água conduzida pelo conduto extravasa através de grelhas existentes sobre o mesmo para dentro da bacia. Quando a carga hidráulica diminui no conduto, as águas depositadas na bacia podem retornar pelas mesmas grelhas. O extravasamento deve ocorrer somente em grandes e intensos eventos de precipitação, o que torna esta bacia imprópria para o controle da poluição difusa.

A bacia existente no parque Marinha do Brasil é um caso à parte, pois a saída das águas se dá através de uma casa de bombas. Além disto, é a única bacia em Porto Alegre projetada para ter um nível permanente de água. Este nível permanente é interessante, pois permite a sedimentação dos poluentes. Quanto ao tempo de esvaziamento, este poderia ser controlado através de uma correta operação das bombas, embora o volume da bacia também precise ser aumentado.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através da combinação da metodologia de maximização de captura de volume de escoamento superficial e da metodologia para verificação da eficiência da remoção de sólidos em suspensão, foi obtido um modelo para pré-dimensionamento de bacias de detenção para controle da poluição difusa. Este modelo além de ser otimizado em termos de volume capturado é o que, dentre as alternativas analisadas, apresenta a melhor relação benefício/custo, avaliado em termos da eficiência de remoção de poluentes e custo de implantação da estrutura. As simulações mostraram que o volume de detenção necessário para o controle da poluição difusa é de 157 m³/ha para um coeficiente de escoamento de 0,6, variando de 36 a 225 m³/ha para coeficientes de escoamento de 0,1 e 1,0, respectivamente.

Este modelo permite o pré-dimensionamento, tendo três possíveis dados de entrada relativos ao uso do solo na área de contribuição: coeficiente de escoamento, fração de áreas impermeáveis ou densidade habitacional. Isto confere uma flexibilidade ao mesmo, facilitando a sua aplicação na fase de planejamento de um empreendimento que necessite de controle qualitativo da drenagem.

O modelo proposto é facilmente integrável à metodologia de dimensionamento de bacias de detenção para controle de cheias em uso no Município de Porto Alegre, bastando para isso que sejam somados os volumes calculados para o controle das cheias e da poluição difusa, e que seja feito o dimensionamento das estruturas de saída de modo que o volume de controle qualitativo seja drenado em um tempo igual ou superior a 24 horas. Considerando o critério atual de dimensionamento para controle de cheias, a adoção do controle qualitativo implicaria em um aumento médio de 55 % no volume das bacias de detenção.

Foram analisadas algumas bacias de amortecimento existentes em Porto Alegre que foram projetadas para o controle de cheias, com o intuito de verificar se poderiam ser adaptadas para o controle qualitativo. Não foram consideradas na análise questões técnicas como cotas de redes de entrada e saída, sendo considerado apenas o volume de detenção. A análise mostrou que todas necessitariam de um aumento de volume de 50 % no melhor dos casos e superior a 100 % em outros. Isto significa que nenhuma delas pode ser facilmente adaptada e que os custos envolvidos seriam altos.

Foi feita uma comparação com metodologias de locais nos Estados Unidos da América com características de precipitação semelhantes (volume médio por evento). Os volumes de controle calculados através do modelo foram compatíveis com aqueles adotados nestes locais. Isto mostra que para Porto Alegre também é válido o critério de agrupamento de regiões semelhantes em termos de precipitação, utilizado nos Estados Unidos. Outros estudos no nosso país, onde a precipitação é diferente da que ocorre em Porto Alegre poderiam ser feitos para verificar se o critério de semelhança também é válido. Se isso fosse confirmado, os volumes de detenção necessários para o controle da poluição difusa em um determinado local com carência de dados poderiam ser extrapolados a partir de outros locais, utilizando o critério da semelhança da precipitação.

Neste trabalho o modelo de maximização de captura de volume foi aplicado a uma série relativamente longa de precipitação (23 anos) com o intuito de obter critérios para o pré-dimensionamento de bacias de detenção para controlar a poluição de origem difusa. Foram analisados também sub-séries da série completa com o mesmo modelo, mostrando que o valor médio dos volumes encontrados tende a diminuir com a diminuição do número de meses das sub-séries. Foi ajustada uma curva logarítmica à razão entre os volumes médios das sub-séries e o volume médio da série completa, a qual permite o cálculo de um fator de correção do volume médio para intervalos de 35 a 284 meses de dados.

Como sugestão para futuros trabalhos, poderiam ser feitos estudos de monitoramento em bacias de detenção, construídas com o intuito de melhorar a qualidade das águas pluviais. Estes estudos deveriam abranger tanto os aspectos qualitativos quanto os quantitativos. Com dados de qualidade da água medidos nas vazões afluentes e efluentes poder-se-ia verificar a eficiência frente a eventos individuais e também a eficiência média anual de uma determinada bacia de detenção. Estudos como este são feitos em outros países. Estes estudos serviriam para verificar a eficiência de tais estruturas e se os critérios de dimensionamento são adequados e, possivelmente, sugerir melhorias ou adaptações, caso fossem necessárias.

Outras questões que poderiam ser abordadas em futuros trabalhos são as implicações legais e econômicas, caso seja exigida a implantação do controle da poluição difusa. Não é necessária uma análise econômica profunda para concluir que os custos diretos para a sociedade irão aumentar se for exigido que as bacias de detenção sejam projetadas não só para o controle quantitativo, mas também para o qualitativo. Porém os benefícios ambientais do controle da poluição difusa talvez possam justificar o investimento aplicado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMEC. 2001. *Georgia Stormwater Management Manual*. Volume 2: Technical Handbook. Atlanta Regional Commission.
- BALL, J. E. 2002. *Stormwater Quality at Centennial Park, Sydney, Australia*. The University Of New South Wales. School of Civil and Environmental Engineer. Sydney.
- BAPTISTA, M. et al, 2005. *Técnicas Compensatória em Drenagem Urbana*. ABRH, 2005. 266p.
- BELL, W., CHAMPAGNE, P. C., 1998. *Targets of Opportunity: Alexandria's Urban Retrofit Program*. In: National Conference on Retrofit Opportunities for Water Resource Protection in Urban Environments, EPA, Chicago, IL, p. 83-87.
- BEMFICA, D. C. 2000. *Verificação da Aplicabilidade de Padrões de Chuva de Projeto a Porto Alegre – RS – Brasil*. Porto Alegre: UFRGS- Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 130f. Dissertação (Mestrado).
- CAMPANA, N.; TUCCI, C. E. M., 1994. *Estimativa de área impermeável de macro bacias urbanas*. RBE, Caderno de Recurso Hídricos v.12 n.2 p. 79-94.
- CASQA 2003. *Stormwater Best Management Practice Handbook. New Development and Redevelopment*. California Stormwater Quality Association, Los Angeles, California.
- CHANEY, R. H. 1982. *Stormwater Detention Facilities in Moddletown, Ohio*. 1982 International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control. University of Kentucky, Lexington, Kentucky. p. 367-377.
- CLAR, M. L. e BARFIELD, B. J. 2004. *Stormwater Best Management Practice Design Guide*. Report No. EPA /600/R-04/121 U.S. EPA, Washington, DC.

DAEE/CETESB. 1980. *Drenagem Urbana, Manual de Projeto*. Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento, São Paulo.

DI TORO, D. M. e SMALL, M. J.. 1979. *Stormwater Interception and Storage*. Journal of Environmental Engineering Division, ASCE, v. 105, n. EE1.

DOTTO, C. B. S. 2006. *Acumulação e Balanço de Sedimentos em Superfícies Asfálticas em Área Urbana de Santa Maria – RS*. Santa Maria. UFSM – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 126f. Dissertação (Mestrado).

DREHER, D. W. 1998. *Retrofit Conservation Designs into the Development Landscapes of Northeastern Illinois*. In: National Conference on Retrofit Opportunities for Water Resource Protection in Urban Environments, EPA, Chicago, IL, p 127-131.

DRISCOLL, E. D., et al, 1986. *Methodology for Analysis of Detention Basins for Control of Urban Runoff Quality*. Report No. EPA 440/5-87-01 (NTIS No. PB87-116562), U.S. EPA, Washington, DC.

EPA. 2002. *Considerations in the Design of Treatment Best Management Practices (BMPs) to Improve Water Quality*. Report No. EPA /600/R-03/103 U.S. EPA, Office of Research and Development. Cincinnati, OH.

FHA, 2001. *Urban Drainage Design Manual*. Federal Highway Administration, U. S. Department of Transportation, Washington, DC.

GUO, J. C. Y. E URBONAS, B. 1996. *Maximized Detention Volume Determined by Runoff Capture Ratio*. Journal of Water Resources and Planning. January/February 1996, p33-39

GUPTA, K. e SAUL, A. J. 1996. *Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows*. Water Resources. v. 30, n. 5, p. 1244-1252.

IBGE. 2009. *Estatísticas de população do século 20*. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/seculoxx/populacao1.zip>. Acessado em 10/09/09.

JEFFERIES, C. 2004. *SUDS in Scotland – The Monitoring Programme of the Scottish Universities*. SUDS Monitoring Group Urban Water Technology Centre. University of Abertay Dundee, Edinburgh, UK.

KNOXVILLE. 2006. *Best Management Practices (BMP) Manual*. Engineering Department, Stormwater Engineering Division, City of Knoxville, Tennessee.

MARYLAND. 2000. *Maryland Stormwater Design Manual*. Vol I e II. Maryland Department of the Environment. Baltimore, Maryland.

McCUEN, R. 1989. *Hydrologic Analysis and Design*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 850 p.

NEVES, E. T. 1960. *Curso de Hidráulica*. Editora Globo, 2ª. Ed, Porto Alegre, 577 p.

NRCS, 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Washington: U. S. Department of Agriculture, 2 Ed. (Technical Release 55).

NCDENR, 1999. *Stormwater Best Management Practices*. N. C. Department of Environment and Natural Resources, Division of Water Quality, North Carolina.

PITT, R. 2002. *The Design and Use of Detention Facilities for Stormwater Management Using DETPOND*. Disponível em:

<http://unix.eng.ua.edu/~rpitt/SLAMMDETPOND/WinDetpond/WinDETPOND%20user%20guide%20and%20documentation.pdf> . Acessado em 07/06/05.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. 2002. Departamento de Esgotos Pluviais. *Plano Diretor de Drenagem Urbana. Volume I*. Porto Alegre, 105 p.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. 2005. Departamento de Esgotos Pluviais. *Caderno de Encargos*. Porto Alegre, 96 p.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. 2009. Secretaria Municipal de Obras e Viação. *Tabela de preços para obras viárias*. Disponível em: http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/smov/usu_doc/tp_ago20082.pdf. Acessado em 17/09/09.

PORTO, M. F. A. 1995. *Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas*. In: TUCCI, C. E. M., PORTO R. L. L., BARROS, M. T. (Org). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS:ABRH. v.5. Porto Alegre, Cap.9 p 387-428.

ROSSMILLER, R. L., 1982. *Outlet Structure for Detention Facilities*. 1982 International Symposium on Urban Hydrology, Hydraulics and Sediment Control. University of Kentucky, Lexington, Kentucky. p 341-355.

SANSALONE, J. J. e CRISTINA, C. M. 2004. *First flush concepts for suspended and dissolved solids in small impervious watersheds*. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, v. 130, p. 1301-1314.

SCHUELER, T. 1987. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designs BMP's*. Department of Environmental Programs. Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC.

SILVEIRA, A. L. L. 2000. *Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre*, In : TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M., 2000, *Avaliação e Controle da Drenagem Urbana*, Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, pp 153-163.

SILVEIRA, A. L. L. e GOLDNEFUM, J. A. 2007. *Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 2, p 157-168.

SOUZA, V. C. B. 2002. *Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial*. UFRGS- Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 151f. Tese (Doutorado).

TOMAZ, P. 2002. *Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais*. Navegar Editora, São Paulo, 475 p.

TUCCI, C. E. M. et All, 1989. *Avaliação do Impacto da Urbanização nas Cheias Urbanas*. RBE, Caderno de Recursos Hídricos, Vol. 7 n. 1, p77-101.

TUCCI, C. E. M. ; GENZ, F. 1996. *Previsão de Cheia*. In: Hidrossedimentologia do Alto Paraguai. IPH/UFRGS MMA/PCBAP. Cap. 10.

TUCCI, C. E. M. 1995. *Inundações Urbanas*. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. e PORTO, BARROS, M. T. (Org.). Drenagem Urbana, Editora da Universidade UFRGS:ABRH. v.5. Porto Alegre, Cap.1 p15-36.

TUCCI, C. E. M., 2000. *Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p 61-68.

UDFCD, 2002. *Drainage Criteria Manual*. Volume 3. Urban Drainage and Flood Control District, Denver, Colorado.

URBONAS, B. e STAHERE, P. 1993. *Stormwater Best Management Practices and Detention*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450 p.

VIANNA, M. R. 1997. *Hidráulica Aplicada às estações de tratamento de água*. Imprimatur, Belo Horizonte, 576 p

VIRGINIA, 1999. *Virginia Stormwater Management Handbook*. Department of Conservation and Recreation, Division of Soil and Water Conservation, Richmond, Virginia.

WHIPPLE, W. e HUNTER, J. V. 1981. *Settleability of urban runoff pollution*. Journal Water Pollution Control Federation, volume 53, n. 12, p 1726-1731.

7. ANEXO I.

Série de eventos de precipitação do Posto do Oitavo Distrito de Meteorologia.

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
8/9/1974	6,20	2,00	24/2/1975	9,80	6,92	12/9/1975	4,15	4,75
12/9/1974	0,45	0,83	5/3/1975	4,85	2,00	13/9/1975	32,20	22,25
17/9/1974	2,10	17,83	6/3/1975	0,80	0,58	19/9/1975	22,00	27,50
23/9/1974	0,60	2,50	7/3/1975	6,10	6,58	21/9/1975	12,25	29,08
24/9/1974	29,35	16,33	11/3/1975	16,70	4,50	29/9/1975	15,90	4,08
26/9/1974	2,20	0,67	19/3/1975	4,05	12,00	1/10/1975	0,35	0,67
5/10/1974	11,35	19,58	23/3/1975	11,60	25,17	2/10/1975	0,60	0,50
7/10/1974	2,75	4,00	29/3/1975	19,90	8,92	8/10/1975	1,00	0,25
16/10/1974	2,70	4,25	2/4/1975	4,90	3,08	11/10/1975	1,20	1,83
23/10/1974	14,55	4,42	3/4/1975	0,50	0,08	13/10/1975	0,70	1,58
4/11/1974	38,45	26,92	8/4/1975	0,30	0,25	14/10/1975	3,90	9,33
12/11/1974	13,95	7,25	14/4/1975	3,25	4,00	19/10/1975	24,45	5,25
18/11/1974	33,25	28,58	22/4/1975	12,35	23,42	20/10/1975	2,80	2,75
21/11/1974	1,00	9,58	27/4/1975	0,60	1,42	21/10/1975	5,95	4,75
25/11/1974	8,20	9,67	2/5/1975	11,35	6,83	26/10/1975	15,70	4,67
27/11/1974	15,60	4,58	13/5/1975	10,40	18,58	28/10/1975	1,90	11,83
30/11/1974	42,30	20,83	16/5/1975	34,70	23,25	30/10/1975	8,85	16,50
1/12/1974	27,65	9,50	31/5/1975	24,55	9,42	31/10/1975	0,50	1,67
9/12/1974	1,05	1,75	1/6/1975	12,70	11,92	6/11/1975	1,75	0,42
12/12/1974	3,70	5,33	5/6/1975	33,80	15,08	7/11/1975	1,10	1,50
21/12/1974	26,60	4,33	11/6/1975	20,60	13,83	16/11/1975	46,70	29,67
22/12/1974	2,65	1,75	21/6/1975	23,85	11,17	21/11/1975	0,45	0,17
23/12/1974	5,50	15,08	1/7/1975	5,40	5,50	23/11/1975	12,10	23,25
25/12/1974	0,75	0,25	5/7/1975	30,60	6,92	28/11/1975	22,75	12,25
28/12/1974	0,60	1,25	11/7/1975	19,30	19,50	29/11/1975	1,50	2,25
5/1/1975	2,40	7,67	15/7/1975	5,10	4,83	1/12/1975	0,30	0,17
7/1/1975	16,80	3,83	17/7/1975	0,60	1,75	8/12/1975	53,75	25,58
9/1/1975	7,10	3,25	23/7/1975	2,00	6,33	11/12/1975	11,35	14,50
11/1/1975	14,30	3,58	29/7/1975	0,85	1,33	19/12/1975	4,80	1,58
16/1/1975	5,45	3,67	3/8/1975	30,00	18,42	23/12/1975	19,20	0,92
16/1/1975	55,05	8,67	4/8/1975	24,70	23,17	1/1/1976	1,10	1,25
26/1/1975	0,40	0,75	6/8/1975	11,30	24,42	2/1/1976	0,90	1,17
31/1/1975	9,55	29,75	8/8/1975	52,80	58,25	3/1/1976	9,20	4,08
3/2/1975	0,60	0,25	13/8/1975	14,40	2,50	4/1/1976	5,00	2,92
4/2/1975	4,30	0,50	15/8/1975	28,70	21,58	5/1/1976	24,40	7,33
8/2/1975	1,00	1,08	25/8/1975	29,50	13,92	6/1/1976	1,00	1,50
8/2/1975	7,35	0,58	28/8/1975	62,90	39,00	9/1/1976	9,00	28,08
13/2/1975	1,65	1,58	6/9/1975	30,80	25,83	12/1/1976	13,05	8,75
15/2/1975	17,75	5,25	8/9/1975	31,80	41,67	14/1/1976	2,15	7,75
17/2/1975	20,85	10,25	10/9/1975	0,40	0,58	18/1/1976	0,75	0,25
20/2/1975	23,60	4,17	11/9/1975	0,50	0,58	19/1/1976	6,05	1,08

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
20/1/1976	1,20	3,92	8/8/1976	23,70	10,42	9/2/1977	10,20	5,00
24/1/1976	9,80	4,08	14/8/1976	0,60	3,67	10/2/1977	3,05	2,67
26/1/1976	11,35	0,58	17/8/1976	3,45	21,00	11/2/1977	1,55	0,83
31/1/1976	31,15	27,67	25/8/1976	0,45	0,92	13/2/1977	4,95	0,83
5/2/1976	29,80	2,33	28/8/1976	1,10	2,25	14/2/1977	1,10	0,92
18/2/1976	3,00	2,33	2/9/1976	48,70	52,08	15/2/1977	10,60	5,08
20/2/1976	3,35	3,67	6/9/1976	21,55	42,58	18/2/1977	0,70	2,33
22/2/1976	3,60	1,83	8/9/1976	3,20	3,75	21/2/1977	11,90	4,08
1/3/1976	5,90	0,42	12/9/1976	0,40	0,58	22/2/1977	1,40	4,25
3/3/1976	10,40	1,33	13/9/1976	2,65	4,42	23/2/1977	0,90	1,17
4/3/1976	2,40	1,67	29/9/1976	29,05	6,08	26/2/1977	4,15	1,75
5/3/1976	0,35	0,92	4/10/1976	17,30	14,42	27/2/1977	11,70	3,50
9/3/1976	41,40	15,42	8/10/1976	3,45	4,92	28/2/1977	19,55	19,17
12/3/1976	1,70	10,33	9/10/1976	2,95	0,92	10/3/1977	4,90	11,58
13/3/1976	2,80	7,08	11/10/1976	2,45	1,58	13/3/1977	0,55	1,25
16/3/1976	35,05	27,08	16/10/1976	10,25	4,33	15/3/1977	0,30	1,08
25/3/1976	33,25	44,83	17/10/1976	4,75	6,50	20/3/1977	14,90	1,00
1/4/1976	14,70	9,08	18/10/1976	4,25	17,58	21/3/1977	0,75	2,00
4/4/1976	29,30	26,25	23/10/1976	10,00	10,33	28/3/1977	14,45	15,33
6/4/1976	6,80	13,42	30/10/1976	24,40	4,67	30/3/1977	4,45	15,33
10/4/1976	22,25	12,83	3/11/1976	41,50	12,58	8/4/1977	1,70	4,92
18/4/1976	10,30	4,67	5/11/1976	28,40	27,67	9/4/1977	14,10	9,58
19/4/1976	13,95	6,67	17/11/1976	4,15	16,67	14/4/1977	26,05	7,58
22/4/1976	1,50	5,00	20/11/1976	0,40	0,67	15/4/1977	5,25	12,50
7/5/1976	42,60	22,17	21/11/1976	9,70	1,50	16/4/1977	45,90	15,58
11/5/1976	25,75	56,75	24/11/1976	13,85	11,33	20/4/1977	2,55	2,17
17/5/1976	13,80	2,92	29/11/1976	36,80	46,33	23/4/1977	2,90	2,92
19/5/1976	18,70	7,33	7/12/1976	53,30	22,08	1/5/1977	14,45	16,67
21/5/1976	42,35	14,08	15/12/1976	40,00	27,25	6/5/1977	16,15	1,42
28/5/1976	20,20	8,83	19/12/1976	25,10	3,00	10/5/1977	7,85	10,75
30/5/1976	9,70	16,08	23/12/1976	2,90	1,75	14/5/1977	1,85	0,33
5/6/1976	11,15	9,25	27/12/1976	4,90	2,25	26/5/1977	21,75	6,83
6/6/1976	3,50	23,50	3/1/1977	18,20	7,75	29/5/1977	8,30	3,25
9/6/1976	0,60	1,17	3/1/1977	9,90	12,42	15/6/1977	45,00	6,42
16/6/1976	7,00	6,50	10/1/1977	0,90	0,75	18/6/1977	96,45	32,08
18/6/1976	4,50	14,83	11/1/1977	5,70	5,67	20/6/1977	41,40	43,00
19/6/1976	0,25	0,25	12/1/1977	5,10	2,58	24/6/1977	21,40	9,67
25/6/1976	76,20	41,50	13/1/1977	5,10	4,25	28/6/1977	2,00	3,33
7/7/1976	5,75	2,33	14/1/1977	14,15	2,25	8/7/1977	30,20	10,25
12/7/1976	89,20	20,92	15/1/1977	1,75	2,25	13/7/1977	20,30	9,33
14/7/1976	25,40	13,42	16/1/1977	4,40	9,58	14/7/1977	17,80	16,50
24/7/1976	77,10	42,75	17/1/1977	7,05	18,92	20/7/1977	55,00	40,83
29/7/1976	13,05	8,50	26/1/1977	0,95	5,25	23/7/1977	2,60	2,58
30/7/1976	22,20	19,08	29/1/1977	2,40	2,50	26/7/1977	3,05	0,25
31/7/1976	9,20	16,33	6/2/1977	3,60	0,25	27/7/1977	37,60	10,33
2/8/1976	48,10	77,00	8/2/1977	6,35	0,75	29/7/1977	11,35	7,67

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
30/7/1977	28,50	13,25	29/4/1978	9,35	40,33	7/2/1979	28,00	2,75
1/8/1977	32,80	13,75	15/5/1978	22,40	20,17	12/2/1979	11,75	6,17
3/8/1977	4,30	4,92	7/6/1978	2,05	7,00	18/2/1979	3,80	1,92
16/8/1977	12,90	13,75	12/6/1978	0,75	0,50	19/2/1979	28,00	3,50
22/8/1977	21,55	42,42	18/6/1978	6,85	7,50	23/2/1979	5,60	7,00
5/9/1977	14,85	7,83	19/6/1978	14,60	7,67	7/3/1979	7,50	14,83
6/9/1977	1,00	0,92	24/6/1978	4,40	0,83	9/3/1979	7,70	6,25
7/9/1977	12,90	2,83	24/6/1978	48,60	12,92	10/3/1979	1,00	5,67
14/9/1977	2,90	5,75	30/6/1978	10,35	8,50	11/3/1979	1,80	4,17
15/9/1977	12,20	6,08	2/7/1978	6,60	4,92	13/3/1979	5,10	5,67
17/9/1977	2,25	19,75	11/7/1978	2,80	1,50	14/3/1979	1,70	0,67
23/9/1977	13,80	7,33	15/7/1978	10,00	17,08	15/3/1979	3,20	1,42
28/9/1977	3,00	9,42	22/7/1978	16,10	4,50	24/3/1979	13,80	5,67
10/10/1977	3,85	23,42	26/7/1978	5,50	14,83	3/4/1979	67,30	59,92
14/10/1977	2,85	6,08	29/7/1978	6,45	1,42	7/4/1979	6,60	5,92
15/10/1977	36,65	12,33	10/8/1978	48,10	43,17	17/4/1979	11,65	16,33
24/10/1977	0,90	3,50	14/8/1978	34,70	7,25	22/4/1979	5,80	6,33
25/10/1977	3,85	15,42	19/8/1978	30,80	38,67	29/4/1979	20,30	4,75
27/10/1977	3,80	12,00	29/8/1978	45,50	21,25	3/5/1979	2,15	14,17
31/10/1977	29,10	9,50	8/9/1978	12,10	12,92	9/5/1979	4,20	3,25
10/11/1977	30,20	21,08	13/9/1978	43,25	36,00	12/5/1979	20,85	5,67
24/11/1977	7,90	3,58	27/9/1978	8,00	1,25	22/5/1979	2,30	0,83
27/11/1977	6,30	10,17	3/10/1978	14,20	3,83	4/6/1979	10,30	16,50
2/12/1977	16,85	6,33	10/10/1978	20,10	8,67	11/6/1979	13,20	6,00
3/12/1977	6,40	14,00	13/10/1978	31,00	11,00	24/6/1979	34,20	10,33
7/12/1977	5,00	7,83	19/10/1978	8,15	10,92	2/7/1979	12,30	20,83
30/12/1977	52,90	22,92	20/10/1978	11,70	6,17	6/7/1979	1,20	4,92
20/1/1978	33,80	24,58	24/10/1978	23,00	2,33	7/7/1979	2,60	1,83
22/1/1978	22,45	7,83	25/10/1978	9,35	7,58	21/7/1979	3,45	3,25
24/1/1978	12,10	4,83	30/10/1978	14,55	18,75	25/7/1979	11,60	4,33
25/1/1978	16,50	3,58	3/11/1978	21,20	4,33	3/8/1979	35,70	5,58
2/2/1978	2,70	8,50	9/11/1978	23,50	5,25	6/8/1979	16,35	18,83
3/2/1978	1,90	3,33	18/11/1978	18,70	3,17	8/8/1979	14,90	19,08
15/2/1978	2,60	0,75	20/11/1978	3,55	2,58	11/8/1979	12,40	13,17
16/2/1978	19,90	10,75	22/11/1978	19,60	22,33	17/8/1979	2,90	9,00
17/2/1978	0,80	0,67	26/11/1978	7,60	1,92	19/8/1979	0,75	3,33
20/2/1978	0,55	0,42	27/11/1978	7,80	0,75	25/8/1979	15,95	10,33
1/3/1978	3,90	4,92	3/12/1978	29,45	19,50	28/8/1979	0,50	0,75
11/3/1978	14,30	8,50	5/12/1978	0,80	0,67	30/8/1979	2,20	1,75
12/3/1978	1,15	1,50	5/12/1978	17,80	10,00	31/8/1979	17,35	13,75
21/3/1978	12,15	2,33	14/12/1978	8,30	6,08	10/9/1979	0,50	2,33
25/3/1978	0,75	0,50	16/12/1978	5,30	0,58	13/9/1979	6,35	11,17
26/3/1978	13,90	7,33	25/12/1978	7,60	8,17	24/9/1979	54,40	15,83
5/4/1978	1,50	0,83	23/1/1979	1,05	1,17	28/9/1979	28,10	24,75
9/4/1978	0,90	1,17	28/1/1979	1,90	5,75	1/10/1979	3,30	3,00
19/4/1978	4,20	1,58	5/2/1979	8,80	4,58	4/10/1979	17,75	23,92

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
13/10/1979	1,40	3,75	18/5/1980	7,85	1,58	20/12/1980	6,60	9,83
14/10/1979	0,60	5,67	21/5/1980	6,00	28,33	27/12/1980	12,10	4,75
22/10/1979	23,40	5,50	28/5/1980	15,50	7,92	29/12/1980	1,60	0,25
24/10/1979	5,90	4,08	30/5/1980	5,20	0,67	30/12/1980	0,80	0,33
29/10/1979	0,70	0,92	31/5/1980	28,50	1,25	6/1/1981	6,60	6,67
30/10/1979	1,25	0,42	11/6/1980	30,10	42,00	12/1/1981	2,15	1,33
7/11/1979	43,80	8,08	19/6/1980	6,55	11,42	18/1/1981	5,30	8,08
8/11/1979	4,90	3,33	24/6/1980	12,80	6,67	1/2/1981	61,50	24,25
9/11/1979	5,65	12,42	30/6/1980	8,05	7,33	3/2/1981	16,60	19,42
15/11/1979	4,20	1,25	7/7/1980	1,40	3,92	8/2/1981	2,10	2,25
16/11/1979	18,00	8,17	8/7/1980	17,70	10,00	13/2/1981	11,10	4,42
24/11/1979	3,80	2,42	13/7/1980	34,00	6,50	13/2/1981	105,90	8,50
25/11/1979	1,15	0,25	14/7/1980	2,80	3,42	15/2/1981	4,55	0,83
30/11/1979	4,70	3,00	20/7/1980	42,60	6,58	18/2/1981	15,40	4,08
3/12/1979	2,20	2,42	26/7/1980	8,20	1,75	28/2/1981	6,95	5,33
4/12/1979	1,40	2,42	28/7/1980	62,70	31,33	2/3/1981	8,20	2,08
6/12/1979	18,30	18,75	5/8/1980	6,40	13,58	7/3/1981	1,70	0,33
8/12/1979	15,30	1,17	17/8/1980	28,90	2,17	31/3/1981	1,80	0,33
13/12/1979	11,65	12,58	19/8/1980	4,80	2,83	3/4/1981	29,50	14,58
14/12/1979	15,20	9,92	21/8/1980	3,00	0,92	14/4/1981	13,60	21,08
28/12/1979	10,90	12,25	22/8/1980	2,40	6,25	25/4/1981	13,95	3,75
30/12/1979	5,10	4,92	31/8/1980	16,80	5,67	28/4/1981	35,70	11,75
8/1/1980	39,85	34,75	8/9/1980	13,80	19,25	5/5/1981	17,70	4,33
19/1/1980	2,90	0,33	14/9/1980	25,80	30,83	11/5/1981	8,80	1,67
20/1/1980	0,55	0,25	28/9/1980	17,25	13,50	14/5/1981	11,30	3,92
24/1/1980	12,25	9,25	4/10/1980	8,50	10,25	15/5/1981	0,30	1,25
31/1/1980	49,50	16,08	8/10/1980	10,90	3,42	19/5/1981	2,50	5,25
3/2/1980	5,80	9,17	18/10/1980	4,80	4,58	26/5/1981	9,10	19,17
10/2/1980	11,70	3,92	19/10/1980	21,05	43,25	2/6/1981	22,40	8,00
16/2/1980	41,30	10,33	26/10/1980	40,95	11,58	6/6/1981	51,75	28,00
24/2/1980	17,00	3,33	30/10/1980	8,20	7,50	10/6/1981	3,50	2,67
1/3/1980	3,80	6,92	5/11/1980	3,70	1,33	13/6/1981	1,40	2,92
3/3/1980	50,25	4,33	6/11/1980	19,80	16,08	22/6/1981	35,15	31,83
7/3/1980	2,70	3,50	8/11/1980	31,95	33,67	25/6/1981	9,00	0,42
11/3/1980	6,80	9,58	11/11/1980	2,00	9,92	28/6/1981	5,40	8,33
13/3/1980	4,20	3,92	19/11/1980	12,90	6,17	29/6/1981	1,50	1,00
17/3/1980	0,80	0,25	22/11/1980	8,20	3,33	30/6/1981	3,20	0,42
25/3/1980	4,65	1,08	29/11/1980	14,60	16,00	11/7/1981	33,60	14,25
28/3/1980	1,30	1,67	30/11/1980	23,70	4,25	12/7/1981	0,60	0,83
29/3/1980	8,95	10,33	1/12/1980	78,60	88,92	16/7/1981	18,30	24,17
10/4/1980	10,25	0,75	9/12/1980	28,90	10,75	20/7/1981	20,65	21,42
11/4/1980	19,75	6,58	11/12/1980	27,40	4,33	24/7/1981	1,20	1,67
30/4/1980	46,75	34,33	14/12/1980	13,50	0,83	25/7/1981	0,60	1,17
2/5/1980	1,90	1,17	15/12/1980	1,50	1,17	31/7/1981	5,80	5,17
7/5/1980	12,45	6,92	17/12/1980	3,40	0,33	7/8/1981	1,35	5,17
9/5/1980	12,00	5,75	18/12/1980	12,30	4,75	12/8/1981	6,30	4,25

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
26/8/1981	35,00	26,92	21/3/1982	8,60	2,00	1/11/1982	3,80	13,92
31/8/1981	19,20	24,00	27/3/1982	4,40	13,67	3/11/1982	43,40	26,33
3/9/1981	11,00	20,92	7/4/1982	0,60	2,00	1/12/1982	23,90	36,92
8/9/1981	0,50	0,75	14/4/1982	11,00	6,92	6/12/1982	8,10	3,50
11/9/1981	11,85	5,25	15/4/1982	0,60	0,17	14/12/1982	19,60	2,00
12/9/1981	76,85	46,67	23/4/1982	0,70	3,33	18/12/1982	1,20	3,42
15/9/1981	1,10	4,58	27/4/1982	2,65	1,75	22/12/1982	8,10	4,75
20/9/1981	38,65	37,83	3/5/1982	0,30	2,25	30/12/1982	1,85	0,83
23/9/1981	12,55	30,75	9/5/1982	8,70	9,33	1/1/1983	1,70	0,42
28/9/1981	8,20	5,67	10/5/1982	20,20	9,17	2/1/1983	1,40	3,25
5/10/1981	0,30	2,50	14/5/1982	11,40	5,58	4/1/1983	25,90	47,42
5/10/1981	5,50	2,00	18/5/1982	0,40	0,83	8/1/1983	1,00	0,17
6/10/1981	1,95	10,92	18/5/1982	2,30	2,00	19/1/1983	18,70	13,08
16/10/1981	0,50	0,17	25/5/1982	3,85	17,25	26/1/1983	25,60	1,42
19/10/1981	1,40	2,33	9/6/1982	41,95	17,58	29/1/1983	1,10	1,33
20/10/1981	2,00	2,75	12/6/1982	9,05	8,58	30/1/1983	7,80	12,08
26/10/1981	8,65	11,92	14/6/1982	134,45	30,75	31/1/1983	5,50	10,75
2/11/1981	8,30	20,17	19/6/1982	37,95	29,25	9/2/1983	1,40	0,58
5/11/1981	35,75	15,50	24/6/1982	0,50	2,25	15/2/1983	47,10	11,83
18/11/1981	14,30	13,42	27/6/1982	127,25	40,58	17/2/1983	0,60	1,58
28/11/1981	11,10	14,83	4/7/1982	21,85	6,83	20/2/1983	5,50	2,67
30/11/1981	8,65	14,92	5/7/1982	8,30	8,50	21/2/1983	4,20	1,50
5/12/1981	27,10	3,08	6/7/1982	31,45	22,50	24/2/1983	3,80	2,00
12/12/1981	1,25	0,67	12/7/1982	10,70	10,00	25/2/1983	66,90	23,08
15/12/1981	11,90	6,67	16/7/1982	0,40	1,83	27/2/1983	39,50	36,50
19/12/1981	14,25	1,92	17/7/1982	4,10	17,83	9/3/1983	62,40	50,83
22/12/1981	5,35	14,25	22/7/1982	50,50	41,33	17/3/1983	103,10	21,25
23/12/1981	1,75	2,67	28/7/1982	9,20	3,92	3/4/1983	15,90	5,25
31/12/1981	5,15	13,08	2/8/1982	1,50	1,92	4/4/1983	9,40	5,50
1/1/1982	0,40	1,08	6/8/1982	84,60	33,42	5/4/1983	7,60	15,75
9/1/1982	0,70	0,67	8/8/1982	15,20	23,08	17/4/1983	3,70	11,83
11/1/1982	2,10	6,75	15/8/1982	20,60	4,75	24/4/1983	27,60	15,33
22/1/1982	2,70	0,83	29/8/1982	46,10	38,25	28/4/1983	26,40	20,92
3/2/1982	67,00	14,92	5/9/1982	6,90	2,83	1/5/1983	3,90	22,00
4/2/1982	3,95	5,33	11/9/1982	6,10	3,08	5/5/1983	6,10	24,50
9/2/1982	14,10	7,58	17/9/1982	83,85	44,67	9/5/1983	4,40	3,58
11/2/1982	4,80	2,58	24/9/1982	22,50	17,42	11/5/1983	47,60	14,25
13/2/1982	2,30	12,25	27/9/1982	24,30	6,50	15/5/1983	31,00	16,25
15/2/1982	7,05	15,92	1/10/1982	0,90	1,08	18/5/1983	4,80	7,00
18/2/1982	2,30	24,67	4/10/1982	6,80	2,83	21/5/1983	1,20	1,17
21/2/1982	2,55	3,25	10/10/1982	16,30	10,42	23/5/1983	35,60	18,08
22/2/1982	1,50	0,33	12/10/1982	10,30	1,42	27/5/1983	20,20	2,50
1/3/1982	10,80	2,00	17/10/1982	26,90	2,58	2/6/1983	2,90	7,00
2/3/1982	0,50	0,83	21/10/1982	126,75	37,67	3/6/1983	1,20	1,75
15/3/1982	16,05	9,67	24/10/1982	32,20	5,08	12/6/1983	34,90	25,00
16/3/1982	1,30	0,25	29/10/1982	6,60	2,75	21/6/1983	38,10	10,83

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
22/6/1983	30,70	15,92	1/1/1984	2,45	1,17	16/6/1984	8,00	11,83
30/6/1983	9,40	13,00	2/1/1984	32,60	22,00	18/6/1984	153,20	59,42
2/7/1983	12,90	20,92	4/1/1984	0,30	0,42	22/6/1984	25,90	7,42
5/7/1983	54,80	15,00	8/1/1984	21,00	0,67	23/6/1984	6,05	11,00
8/7/1983	25,30	7,33	10/1/1984	1,40	0,17	26/6/1984	3,50	6,42
9/7/1983	15,50	26,92	11/1/1984	1,00	0,83	3/7/1984	15,60	10,83
13/7/1983	5,60	3,08	13/1/1984	7,90	4,92	4/7/1984	10,00	11,17
15/7/1983	28,30	15,75	14/1/1984	45,00	51,17	5/7/1984	12,60	3,42
24/7/1983	16,10	15,83	19/1/1984	35,60	27,42	8/7/1984	8,20	20,25
27/7/1983	19,40	29,08	29/1/1984	2,40	0,58	12/7/1984	1,40	1,25
29/7/1983	95,00	78,42	30/1/1984	1,40	1,17	15/7/1984	13,70	6,17
3/8/1983	1,60	0,42	1/2/1984	5,20	4,92	18/7/1984	50,20	34,75
8/8/1983	26,50	14,58	2/2/1984	28,00	33,25	20/7/1984	18,75	23,50
13/8/1983	11,15	6,08	5/2/1984	36,00	10,25	23/7/1984	0,40	1,58
15/8/1983	53,40	17,08	12/2/1984	0,80	0,50	1/8/1984	29,30	9,92
17/8/1983	14,10	8,08	16/2/1984	0,90	0,42	3/8/1984	0,30	0,25
18/8/1983	2,20	2,25	20/2/1984	7,10	4,75	5/8/1984	2,10	0,42
24/8/1983	11,65	7,58	24/2/1984	11,10	3,17	5/8/1984	0,70	1,00
30/8/1983	61,00	21,58	26/2/1984	10,30	0,50	6/8/1984	3,20	2,92
7/9/1983	6,40	4,83	29/2/1984	10,60	1,67	8/8/1984	42,50	33,25
22/9/1983	12,00	5,42	1/3/1984	48,50	18,00	10/8/1984	0,60	0,08
28/9/1983	30,80	29,17	9/3/1984	18,90	0,75	12/8/1984	0,40	0,33
30/9/1983	27,70	31,17	10/3/1984	11,00	2,25	12/8/1984	0,40	0,83
9/10/1983	34,75	18,33	11/3/1984	1,70	1,83	17/8/1984	2,55	6,25
16/10/1983	33,00	19,08	25/3/1984	2,00	1,25	21/8/1984	3,10	9,58
21/10/1983	10,40	3,42	28/3/1984	7,30	3,25	24/8/1984	15,20	10,17
29/10/1983	81,20	65,83	1/4/1984	28,20	16,25	14/9/1984	7,70	7,67
2/11/1983	6,10	17,08	2/4/1984	0,60	0,33	16/9/1984	2,70	4,92
3/11/1983	7,80	2,75	14/4/1984	1,20	1,08	19/9/1984	11,30	14,67
4/11/1983	6,40	1,58	16/4/1984	28,90	15,50	21/9/1984	0,40	0,50
8/11/1983	11,40	5,33	17/4/1984	43,25	25,25	24/9/1984	13,60	9,17
11/11/1983	9,40	5,83	20/4/1984	58,60	3,83	26/9/1984	15,80	8,67
13/11/1983	32,40	10,58	20/4/1984	32,70	8,33	28/9/1984	1,50	5,08
14/11/1983	0,50	0,50	22/4/1984	55,50	23,33	29/9/1984	5,30	9,42
14/11/1983	24,60	17,75	5/5/1984	61,25	46,42	3/10/1984	3,20	1,75
18/11/1983	1,40	10,25	10/5/1984	30,40	21,25	4/10/1984	15,70	9,83
21/11/1983	7,80	5,08	19/5/1984	31,30	4,33	5/10/1984	13,70	10,17
1/12/1983	18,30	10,17	20/5/1984	116,80	50,50	8/10/1984	0,80	3,58
11/12/1983	2,40	1,33	23/5/1984	16,70	2,08	17/10/1984	9,60	5,33
12/12/1983	4,15	5,83	24/5/1984	2,80	2,67	29/10/1984	20,40	11,25
17/12/1983	6,70	1,08	27/5/1984	8,40	13,17	1/11/1984	24,70	10,08
19/12/1983	2,00	12,50	29/5/1984	6,10	6,67	2/11/1984	3,40	3,17
20/12/1983	2,90	2,08	3/6/1984	121,35	96,83	5/11/1984	9,20	21,42
21/12/1983	3,40	4,17	9/6/1984	7,05	9,42	8/11/1984	20,00	8,75
28/12/1983	4,60	0,50	12/6/1984	15,80	4,25	24/11/1984	7,30	1,42
31/12/1983	5,50	2,67	14/6/1984	6,80	8,67	29/11/1984	0,50	0,08

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
1/12/1984	7,60	8,33	27/5/1985	18,70	4,92	15/2/1986	1,60	8,75
6/12/1984	5,00	2,58	28/5/1985	30,10	22,00	16/2/1986	24,00	7,25
6/12/1984	2,80	15,33	1/6/1985	9,20	15,67	23/2/1986	32,90	34,75
9/12/1984	1,60	1,75	5/6/1985	3,90	2,67	26/2/1986	12,00	3,25
12/12/1984	14,30	3,17	7/6/1985	43,80	38,50	28/2/1986	2,20	4,25
17/12/1984	7,80	11,92	15/6/1985	38,90	42,25	5/3/1986	2,50	1,25
29/12/1984	0,50	1,75	21/6/1985	0,90	5,33	10/3/1986	6,20	13,67
6/1/1985	11,60	3,67	30/6/1985	12,20	30,00	11/3/1986	5,35	1,25
12/1/1985	1,50	3,25	4/7/1985	0,40	0,17	14/3/1986	2,60	15,42
15/1/1985	12,80	10,58	5/7/1985	46,60	27,67	15/3/1986	70,75	11,08
22/1/1985	7,10	1,50	9/7/1985	15,70	14,25	17/3/1986	0,70	0,83
23/1/1985	0,60	0,17	28/7/1985	15,90	6,67	18/3/1986	28,00	4,58
26/1/1985	21,10	9,58	30/7/1985	18,40	22,42	27/3/1986	2,90	7,75
27/1/1985	3,50	2,17	4/8/1985	2,65	3,08	1/4/1986	11,50	11,33
3/2/1985	3,50	0,33	7/8/1985	48,30	28,17	3/4/1986	7,10	4,33
7/2/1985	2,90	6,33	10/8/1985	83,50	56,58	5/4/1986	19,90	20,75
9/2/1985	4,40	5,25	16/8/1985	11,60	12,67	8/4/1986	6,60	10,92
11/2/1985	1,10	0,50	18/8/1985	30,50	36,33	10/4/1986	16,20	3,00
12/2/1985	1,10	1,75	25/8/1985	35,00	36,17	13/4/1986	33,00	36,42
13/2/1985	12,90	16,75	29/8/1985	3,20	1,42	25/4/1986	44,80	16,92
14/2/1985	28,90	7,92	3/9/1985	1,05	4,17	9/5/1986	5,50	0,83
18/2/1985	26,90	1,83	12/9/1985	6,40	18,50	17/5/1986	43,20	8,25
19/2/1985	9,35	5,83	14/9/1985	9,80	7,58	24/5/1986	21,70	14,42
20/2/1985	1,00	1,42	15/9/1985	49,05	40,50	29/5/1986	80,15	34,83
26/2/1985	1,20	7,42	19/9/1985	44,40	28,50	5/6/1986	24,65	15,08
7/3/1985	1,30	1,00	28/9/1985	17,60	16,00	11/6/1986	16,00	8,08
8/3/1985	27,80	5,50	30/9/1985	0,60	0,08	14/6/1986	2,20	6,58
9/3/1985	38,65	14,83	5/10/1985	1,80	1,58	24/6/1986	7,60	7,50
11/3/1985	1,90	4,00	15/10/1985	1,00	1,67	30/6/1986	55,70	27,83
15/3/1985	9,50	11,00	19/10/1985	45,10	26,25	16/7/1986	27,30	19,58
18/3/1985	16,60	1,42	22/10/1985	10,20	2,83	18/7/1986	17,20	8,25
20/3/1985	30,30	9,17	1/11/1985	1,80	1,92	19/7/1986	24,50	21,08
22/3/1985	15,40	9,83	5/11/1985	11,00	6,25	30/7/1986	1,10	3,17
24/3/1985	27,50	8,92	22/11/1985	3,40	0,25	3/8/1986	63,00	44,33
27/3/1985	39,40	7,75	26/11/1985	5,00	4,33	10/8/1986	47,50	12,25
29/3/1985	28,30	11,00	30/11/1985	4,20	1,00	13/8/1986	5,75	8,25
2/4/1985	61,75	34,17	12/12/1985	3,70	12,67	14/8/1986	11,60	5,75
8/4/1985	1,20	2,25	15/12/1985	6,30	1,83	15/8/1986	1,70	8,08
10/4/1985	2,20	1,25	25/12/1985	135,00	59,42	19/8/1986	2,95	17,75
15/4/1985	28,20	23,33	12/1/1986	6,00	2,75	22/8/1986	5,20	3,33
25/4/1985	1,50	2,83	17/1/1986	27,60	20,58	3/9/1986	4,40	4,92
29/4/1985	27,40	21,25	30/1/1986	2,00	2,25	14/9/1986	136,45	59,42
7/5/1985	9,90	2,50	1/2/1986	11,40	5,08	17/9/1986	5,05	38,25
9/5/1985	24,60	11,08	7/2/1986	5,20	1,17	19/9/1986	1,40	8,42
19/5/1985	17,20	16,92	9/2/1986	8,70	18,33	22/9/1986	2,50	7,58
24/5/1985	2,60	1,92	10/2/1986	31,00	14,75	23/9/1986	8,50	14,92

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
25/9/1986	1,90	1,25	13/4/1987	33,80	23,17	8/11/1987	43,60	2,83
3/10/1986	2,50	2,33	16/4/1987	28,00	11,83	13/11/1987	3,20	0,50
8/10/1986	70,55	48,67	18/4/1987	8,25	9,42	14/11/1987	21,30	5,42
11/10/1986	0,60	1,33	2/5/1987	39,90	4,67	15/11/1987	1,55	2,00
17/10/1986	9,40	6,67	6/5/1987	31,40	9,67	20/11/1987	9,55	14,58
20/10/1986	10,60	9,08	7/5/1987	8,50	11,67	24/11/1987	35,10	24,50
31/10/1986	6,30	5,08	12/5/1987	8,25	13,08	26/11/1987	10,30	6,75
2/11/1986	3,60	19,08	3/6/1987	28,45	28,00	2/12/1987	3,00	2,17
4/11/1986	94,60	33,42	5/6/1987	21,75	9,42	4/12/1987	2,00	2,92
9/11/1986	11,00	8,25	12/6/1987	14,00	8,83	5/12/1987	2,10	0,83
18/11/1986	9,90	3,08	14/6/1987	2,50	9,67	5/12/1987	0,40	0,08
19/11/1986	1,25	1,25	22/6/1987	16,90	5,50	7/12/1987	13,70	22,17
22/11/1986	26,70	12,50	30/6/1987	41,70	32,83	9/12/1987	5,30	1,67
24/11/1986	27,70	14,83	2/7/1987	47,10	21,17	12/12/1987	1,90	1,25
27/11/1986	65,00	36,50	7/7/1987	8,20	8,92	16/12/1987	12,60	19,58
2/12/1986	1,60	2,00	11/7/1987	20,20	4,83	20/12/1987	39,40	36,75
16/12/1986	8,60	3,33	12/7/1987	0,45	0,25	26/12/1987	7,30	16,67
20/12/1986	47,20	16,00	17/7/1987	3,05	17,58	27/12/1987	2,20	0,42
21/12/1986	11,90	5,33	24/7/1987	3,00	3,83	29/12/1987	9,20	3,92
22/12/1986	0,40	0,08	27/7/1987	77,80	46,67	5/1/1988	15,40	2,33
23/12/1986	29,90	28,83	30/7/1987	8,95	11,67	13/1/1988	2,25	3,08
29/12/1986	0,60	0,58	5/8/1987	0,60	13,75	14/1/1988	8,00	0,50
31/12/1986	34,35	23,83	6/8/1987	26,60	15,75	16/1/1988	39,00	4,42
2/1/1987	2,05	0,42	8/8/1987	0,60	0,67	18/1/1988	9,20	5,67
5/1/1987	3,10	1,58	10/8/1987	29,00	20,25	19/1/1988	15,50	2,83
6/1/1987	6,00	5,50	12/8/1987	37,20	14,08	21/1/1988	1,75	2,17
7/1/1987	2,00	2,92	13/8/1987	55,60	35,33	26/1/1988	0,70	0,25
8/1/1987	12,00	7,25	15/8/1987	11,30	2,00	28/1/1988	12,65	13,25
1/2/1987	16,80	13,92	19/8/1987	17,30	19,92	29/1/1988	27,75	30,08
3/2/1987	12,00	2,75	20/8/1987	2,30	7,25	1/2/1988	1,15	2,17
5/2/1987	3,80	7,25	25/8/1987	7,65	16,25	3/2/1988	1,50	1,42
6/2/1987	2,20	3,92	28/8/1987	57,50	46,25	24/2/1988	19,50	18,00
7/2/1987	17,90	3,17	1/9/1987	30,85	25,75	6/3/1988	0,90	2,58
8/2/1987	15,90	11,00	9/9/1987	42,10	27,25	14/3/1988	1,20	0,67
15/2/1987	3,00	1,00	14/9/1987	0,90	0,42	28/3/1988	2,10	1,58
16/2/1987	0,65	1,50	15/9/1987	32,00	10,17	29/3/1988	1,00	1,58
19/2/1987	1,05	2,25	19/9/1987	0,70	0,75	31/3/1988	3,90	10,92
20/2/1987	13,60	4,83	28/9/1987	6,60	2,08	7/4/1988	5,50	6,67
5/3/1987	1,40	0,25	30/9/1987	21,15	30,83	12/4/1988	8,95	10,92
8/3/1987	32,65	24,42	11/10/1987	32,10	12,33	14/4/1988	10,50	8,58
10/3/1987	0,70	0,42	14/10/1987	23,80	20,00	22/4/1988	1,50	2,00
11/3/1987	27,30	28,00	25/10/1987	1,20	4,67	24/4/1988	29,10	14,42
25/3/1987	24,05	10,50	28/10/1987	29,50	18,75	25/4/1988	11,20	4,83
1/4/1987	16,10	12,67	4/11/1987	17,60	11,33	26/4/1988	1,50	6,67
9/4/1987	12,30	18,58	5/11/1987	14,00	4,17	28/4/1988	0,30	0,25
11/4/1987	13,75	23,00	6/11/1987	5,00	8,00	30/4/1988	8,10	2,75

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
2/5/1988	6,75	14,83	28/12/1988	0,60	0,92	9/8/1989	17,00	46,67
3/5/1988	2,65	5,58	6/1/1989	3,00	3,42	20/8/1989	9,90	10,08
12/5/1988	12,20	23,25	7/1/1989	6,70	5,92	22/8/1989	3,35	3,58
14/5/1988	4,50	6,67	8/1/1989	50,60	8,58	24/8/1989	9,00	5,50
22/5/1988	5,30	11,58	16/1/1989	1,30	7,25	26/8/1989	14,60	6,83
3/6/1988	17,40	18,50	19/1/1989	20,10	21,50	31/8/1989	41,15	6,92
7/6/1988	55,35	44,58	25/1/1989	29,10	9,17	5/9/1989	18,40	16,67
12/6/1988	25,50	15,83	26/1/1989	15,75	3,00	8/9/1989	9,65	7,67
14/6/1988	0,60	2,58	27/1/1989	6,10	18,83	11/9/1989	23,85	9,42
18/6/1988	0,70	1,08	29/1/1989	48,90	29,17	13/9/1989	25,10	29,17
18/6/1988	1,10	1,42	7/2/1989	19,30	11,17	22/9/1989	57,15	48,50
19/6/1988	7,30	12,92	15/2/1989	0,80	5,58	25/9/1989	1,60	1,42
23/6/1988	44,30	7,75	23/2/1989	1,50	1,42	2/10/1989	15,35	15,67
27/6/1988	7,20	12,17	2/3/1989	4,70	1,00	11/10/1989	14,85	22,33
5/7/1988	36,75	41,08	11/3/1989	2,70	3,83	13/10/1989	2,10	4,75
22/7/1988	10,20	3,00	15/3/1989	6,70	6,33	16/10/1989	1,55	3,67
24/7/1988	0,60	1,42	18/3/1989	0,40	1,00	17/10/1989	3,70	13,58
2/8/1988	1,90	5,08	19/3/1989	22,90	32,08	25/10/1989	5,70	3,00
3/8/1988	2,00	8,33	25/3/1989	30,25	17,92	27/10/1989	24,15	11,17
8/8/1988	3,70	6,00	29/3/1989	55,70	16,67	3/11/1989	1,10	1,17
15/8/1988	7,40	6,25	31/3/1989	32,60	22,08	11/11/1989	15,25	13,17
20/8/1988	5,00	2,42	2/4/1989	1,25	4,92	13/11/1989	8,00	12,92
31/8/1988	1,40	2,00	5/4/1989	21,30	9,67	19/11/1989	1,00	0,17
7/9/1988	5,60	3,83	7/4/1989	7,30	9,42	20/11/1989	12,30	9,08
9/9/1988	99,35	90,50	10/4/1989	20,00	21,17	23/11/1989	35,90	4,33
20/9/1988	28,65	42,50	17/4/1989	0,95	6,17	24/11/1989	20,20	11,50
23/9/1988	82,25	56,67	26/4/1989	5,40	0,83	27/11/1989	1,40	1,17
26/9/1988	6,85	28,83	28/4/1989	47,85	14,25	9/12/1989	8,10	3,92
2/10/1988	34,80	14,92	3/5/1989	17,10	15,33	17/12/1989	31,80	14,08
12/10/1988	8,50	7,25	5/5/1989	38,00	30,08	29/12/1989	1,50	2,17
15/10/1988	1,80	1,33	26/5/1989	3,05	4,33	1/1/1990	3,45	11,00
19/10/1988	14,60	6,92	2/6/1989	3,20	1,83	13/1/1990	2,40	10,25
20/10/1988	9,90	1,58	3/6/1989	1,30	6,25	16/1/1990	20,75	6,33
22/10/1988	5,30	8,58	9/6/1989	2,40	1,00	17/1/1990	11,25	16,17
25/10/1988	10,80	14,08	22/6/1989	6,60	10,58	20/1/1990	14,45	11,42
31/10/1988	2,50	1,25	24/6/1989	51,50	30,42	24/1/1990	7,40	25,08
8/11/1988	6,60	9,17	26/6/1989	1,50	20,58	31/1/1990	45,70	6,42
12/11/1988	30,55	9,25	28/6/1989	13,70	14,50	11/2/1990	28,40	28,17
18/11/1988	35,90	15,50	30/6/1989	1,40	0,42	14/2/1990	0,40	0,33
21/11/1988	27,20	24,08	1/7/1989	30,00	33,42	16/2/1990	3,55	19,08
26/11/1988	22,05	7,67	4/7/1989	39,00	18,83	18/2/1990	16,40	4,58
8/12/1988	3,25	7,17	7/7/1989	0,40	0,25	22/2/1990	3,60	2,83
11/12/1988	3,20	0,75	12/7/1989	9,00	5,00	23/2/1990	22,40	5,25
12/12/1988	8,70	1,33	20/7/1989	7,80	4,08	25/2/1990	5,90	4,25
13/12/1988	6,90	9,50	28/7/1989	3,10	6,67	26/2/1990	12,85	22,75
19/12/1988	5,40	2,00	4/8/1989	17,50	13,58	5/3/1990	17,35	10,83

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
11/3/1990	25,80	16,08	18/9/1990	4,80	5,17	23/4/1991	24,60	40,17
13/3/1990	0,90	0,58	19/9/1990	36,15	17,75	28/4/1991	1,20	1,92
14/3/1990	5,35	11,08	21/9/1990	15,10	6,08	4/5/1991	10,90	6,58
18/3/1990	0,40	0,25	22/9/1990	2,10	5,83	5/5/1991	1,85	4,92
26/3/1990	18,50	12,00	28/9/1990	0,40	0,33	13/5/1991	1,60	6,58
30/3/1990	33,00	6,67	2/10/1990	2,80	7,00	16/5/1991	1,75	6,58
2/4/1990	28,80	2,42	6/10/1990	3,55	2,83	22/5/1991	13,70	15,00
5/4/1990	1,20	16,33	7/10/1990	76,25	60,67	4/6/1991	39,05	28,58
7/4/1990	12,45	17,75	11/10/1990	70,00	22,58	14/6/1991	15,60	6,50
9/4/1990	1,00	4,50	13/10/1990	42,20	17,67	17/6/1991	4,70	4,67
11/4/1990	10,35	11,58	18/10/1990	3,40	2,50	18/6/1991	13,20	13,83
13/4/1990	5,90	3,83	19/10/1990	10,90	2,92	26/6/1991	2,60	4,92
13/4/1990	3,70	4,00	29/10/1990	11,85	4,83	27/6/1991	19,60	20,17
16/4/1990	14,70	7,50	31/10/1990	21,80	6,33	6/7/1991	1,10	2,08
24/4/1990	7,70	5,17	3/11/1990	88,80	21,33	9/7/1991	32,80	34,25
26/4/1990	94,00	69,50	7/11/1990	16,00	5,58	18/7/1991	37,00	7,17
10/5/1990	5,60	3,50	8/11/1990	7,95	8,58	21/7/1991	79,30	39,08
15/5/1990	6,20	11,50	9/11/1990	3,00	5,08	31/7/1991	48,00	31,17
18/5/1990	4,00	11,33	12/11/1990	5,40	3,08	5/8/1991	50,80	39,92
27/5/1990	20,60	43,33	14/11/1990	16,30	1,83	8/8/1991	6,40	22,67
30/5/1990	12,80	19,00	15/11/1990	47,60	5,58	29/8/1991	9,20	12,17
31/5/1990	0,40	0,92	21/11/1990	1,40	0,25	31/8/1991	15,40	16,00
3/6/1990	25,95	64,58	26/11/1990	0,40	0,17	10/9/1991	3,10	2,17
13/6/1990	15,00	19,83	2/12/1990	17,30	11,67	14/9/1991	13,60	29,75
19/6/1990	49,40	29,58	10/1/1991	12,80	5,58	18/9/1991	22,40	17,83
24/6/1990	7,20	17,75	13/1/1991	1,20	6,42	22/9/1991	0,70	1,00
28/6/1990	3,60	6,75	21/1/1991	17,50	5,92	27/9/1991	2,80	0,83
30/6/1990	0,90	1,42	25/1/1991	6,10	4,42	30/9/1991	10,80	6,67
5/7/1990	9,30	10,58	26/1/1991	7,55	9,08	5/10/1991	10,60	17,83
9/7/1990	1,80	2,50	29/1/1991	6,60	2,33	9/10/1991	3,60	3,75
11/7/1990	6,30	4,75	3/2/1991	3,90	6,42	23/10/1991	1,70	0,67
16/7/1990	12,90	6,50	12/2/1991	33,50	3,33	24/10/1991	22,80	18,42
17/7/1990	4,10	0,83	13/2/1991	0,55	0,67	25/10/1991	35,30	6,08
18/7/1990	0,40	0,17	22/2/1991	41,30	13,58	29/10/1991	3,60	18,92
23/7/1990	4,65	15,00	28/2/1991	24,70	6,42	1/11/1991	22,15	11,08
26/7/1990	5,50	7,33	2/3/1991	0,50	0,83	2/11/1991	5,10	6,25
15/8/1990	13,90	4,92	9/3/1991	21,90	13,92	6/11/1991	16,10	9,17
16/8/1990	0,60	3,00	14/3/1991	3,20	6,08	14/11/1991	1,00	4,42
26/8/1990	3,30	5,92	18/3/1991	2,00	2,92	15/11/1991	5,00	2,42
27/8/1990	2,25	5,00	25/3/1991	4,00	1,67	16/11/1991	2,50	7,17
31/8/1990	20,80	35,83	31/3/1991	11,40	3,92	24/11/1991	3,10	7,92
4/9/1990	1,00	1,25	7/4/1991	6,80	6,00	25/11/1991	4,20	21,50
6/9/1990	1,35	1,75	13/4/1991	11,25	12,92	27/11/1991	1,40	1,75
7/9/1990	37,40	7,75	15/4/1991	0,60	0,42	29/11/1991	2,60	10,42
11/9/1990	92,85	26,83	15/4/1991	32,30	1,25	6/12/1991	1,90	2,17
14/9/1990	2,60	2,92	16/4/1991	82,80	35,58	9/12/1991	30,10	6,67

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
12/12/1991	3,90	11,67	6/6/1992	3,00	1,00	31/12/1992	0,50	0,17
14/12/1991	9,70	20,17	8/6/1992	4,50	2,08	31/12/1992	45,40	52,67
16/12/1991	0,20	0,25	8/6/1992	29,60	5,75	4/1/1993	5,30	2,83
20/12/1991	8,90	3,00	22/6/1992	3,10	1,58	7/1/1993	3,50	0,58
22/12/1991	8,00	3,92	23/6/1992	11,40	3,33	14/1/1993	26,20	25,75
24/12/1991	4,40	1,58	27/6/1992	6,25	9,50	17/1/1993	5,60	2,08
25/12/1991	48,55	36,75	30/6/1992	47,10	45,00	26/1/1993	3,05	2,75
2/1/1992	2,10	5,17	4/7/1992	58,95	35,92	27/1/1993	44,70	6,33
22/1/1992	12,30	0,50	14/7/1992	17,30	8,00	28/1/1993	2,50	1,33
23/1/1992	81,20	17,83	17/7/1992	23,60	24,50	30/1/1993	15,30	3,58
24/1/1992	4,60	3,33	21/7/1992	2,10	4,33	1/2/1993	3,20	1,58
1/2/1992	1,00	7,92	26/7/1992	8,90	7,67	2/2/1993	18,90	7,92
3/2/1992	3,00	0,75	30/7/1992	38,80	35,08	3/2/1993	9,60	1,00
4/2/1992	4,00	2,92	4/8/1992	1,00	1,08	7/2/1993	3,50	0,67
6/2/1992	2,40	0,33	7/8/1992	11,75	9,83	13/2/1993	4,20	1,33
7/2/1992	2,10	0,50	10/8/1992	2,90	31,83	15/2/1993	2,20	14,58
10/2/1992	9,90	2,50	22/8/1992	39,10	17,08	19/2/1993	4,60	0,58
11/2/1992	6,20	2,08	31/8/1992	3,40	2,25	20/2/1993	50,40	27,92
12/2/1992	1,80	4,67	1/9/1992	28,20	60,33	3/3/1993	1,10	5,08
14/2/1992	36,60	29,33	11/9/1992	1,10	14,67	6/3/1993	13,40	15,83
16/2/1992	0,80	0,50	12/9/1992	13,00	3,83	7/3/1993	6,25	18,67
22/2/1992	6,60	1,67	18/9/1992	19,70	11,67	13/3/1993	4,40	1,75
23/2/1992	2,90	28,83	22/9/1992	113,90	75,42	18/3/1993	0,60	1,25
3/3/1992	13,10	6,00	2/10/1992	11,60	9,75	19/3/1993	10,00	1,42
6/3/1992	2,50	0,42	5/10/1992	3,30	6,08	24/3/1993	23,50	25,17
10/3/1992	6,40	1,58	12/10/1992	6,90	4,58	27/3/1993	3,20	6,33
14/3/1992	65,70	15,92	17/10/1992	0,60	0,25	2/4/1993	5,20	1,75
22/3/1992	65,30	41,17	18/10/1992	0,80	0,58	5/4/1993	6,30	3,58
24/3/1992	7,80	32,50	20/10/1992	1,80	5,75	8/4/1993	2,60	3,92
26/3/1992	21,30	3,17	26/10/1992	13,20	5,67	15/4/1993	9,20	0,42
5/4/1992	46,40	12,67	28/10/1992	46,30	17,17	16/4/1993	3,00	1,83
7/4/1992	5,40	1,25	31/10/1992	2,80	5,00	22/4/1993	1,90	5,75
12/4/1992	37,15	20,25	3/11/1992	3,40	2,17	25/4/1993	4,10	1,25
13/4/1992	51,50	62,00	10/11/1992	11,30	1,58	2/5/1993	3,80	2,33
16/4/1992	6,70	24,08	15/11/1992	1,90	2,75	4/5/1993	25,10	5,67
23/4/1992	0,50	1,08	21/11/1992	5,40	7,08	11/5/1993	8,80	4,25
29/4/1992	2,20	14,83	29/11/1992	21,50	22,83	13/5/1993	50,10	29,17
1/5/1992	11,10	11,83	6/12/1992	6,90	7,00	25/5/1993	17,70	25,50
10/5/1992	13,10	11,17	10/12/1992	0,80	3,00	30/5/1993	61,50	22,50
11/5/1992	5,60	4,75	11/12/1992	1,80	0,42	3/6/1993	76,40	24,50
12/5/1992	3,40	5,08	12/12/1992	0,85	3,92	15/6/1993	4,70	2,00
22/5/1992	4,10	4,67	14/12/1992	0,55	1,58	16/6/1993	6,10	25,42
26/5/1992	33,85	72,25	17/12/1992	5,10	12,75	24/6/1993	6,60	6,67
2/6/1992	42,70	14,67	21/12/1992	0,30	0,50	28/6/1993	12,50	10,50
4/6/1992	0,90	0,58	21/12/1992	3,40	0,58	2/7/1993	11,40	20,67
5/6/1992	4,00	1,25	23/12/1992	24,40	2,17	4/7/1993	74,90	64,75

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
10/7/1993	46,70	22,08	3/2/1994	16,50	8,67	14/8/1994	55,50	32,25
12/7/1993	1,50	2,00	8/2/1994	0,90	1,17	23/8/1994	1,50	0,83
13/7/1993	1,00	1,83	9/2/1994	19,90	2,33	28/8/1994	24,20	8,25
28/7/1993	33,55	40,08	11/2/1994	65,45	22,58	2/9/1994	5,90	6,00
31/7/1993	0,60	1,42	14/2/1994	48,90	25,67	7/9/1994	11,85	16,67
17/8/1993	1,70	2,67	16/2/1994	24,10	20,00	12/9/1994	7,20	18,17
29/8/1993	27,70	30,58	18/2/1994	0,60	2,50	25/9/1994	4,10	6,08
31/8/1993	11,85	21,75	21/2/1994	3,30	2,00	30/9/1994	5,60	2,75
15/9/1993	0,60	0,42	22/2/1994	16,20	1,33	2/10/1994	7,20	9,08
19/9/1993	17,20	10,00	23/2/1994	3,50	3,33	3/10/1994	7,75	14,58
22/9/1993	6,65	16,83	24/2/1994	1,60	3,42	10/10/1994	1,00	3,00
24/9/1993	1,00	6,17	25/2/1994	0,50	0,33	13/10/1994	32,40	7,42
26/9/1993	4,60	11,17	1/3/1994	30,90	7,00	17/10/1994	78,30	35,92
29/9/1993	1,40	1,08	9/3/1994	26,30	15,00	19/10/1994	37,50	5,42
4/10/1993	1,50	15,17	18/3/1994	19,60	22,25	22/10/1994	35,45	26,92
12/10/1993	4,20	2,00	21/3/1994	4,35	9,50	24/10/1994	3,00	0,50
17/10/1993	1,50	6,00	25/3/1994	8,80	6,67	31/10/1994	30,55	22,42
19/10/1993	8,45	11,33	29/3/1994	29,85	16,92	5/11/1994	13,45	4,08
20/10/1993	17,00	11,50	6/4/1994	28,50	29,08	6/11/1994	2,80	5,42
22/10/1993	70,95	25,50	17/4/1994	36,40	7,25	8/11/1994	2,85	1,42
24/10/1993	4,55	29,25	19/4/1994	0,30	1,58	9/11/1994	1,20	1,08
30/10/1993	25,00	2,17	21/4/1994	23,30	9,92	12/11/1994	0,40	0,75
31/10/1993	7,05	9,83	25/4/1994	25,30	14,67	18/11/1994	10,50	4,00
5/11/1993	1,20	0,75	3/5/1994	21,10	21,25	26/11/1994	5,10	9,75
6/11/1993	1,00	1,00	9/5/1994	9,95	22,92	28/11/1994	13,80	5,00
12/11/1993	11,60	9,33	11/5/1994	55,60	68,25	2/12/1994	19,30	2,42
13/11/1993	1,40	1,75	24/5/1994	13,50	11,00	3/12/1994	14,00	12,92
14/11/1993	96,95	29,83	26/5/1994	1,00	6,75	13/12/1994	5,35	1,67
16/11/1993	36,25	14,92	28/5/1994	9,90	13,75	16/12/1994	24,60	20,58
26/11/1993	6,40	0,25	31/5/1994	17,90	5,83	21/12/1994	3,30	3,58
30/11/1993	8,80	15,17	3/6/1994	8,95	12,50	22/12/1994	1,25	0,33
3/12/1993	4,70	1,67	6/6/1994	13,80	11,83	28/12/1994	25,20	32,58
4/12/1993	44,20	31,92	16/6/1994	7,30	20,50	31/12/1994	6,80	6,00
6/12/1993	1,40	6,50	18/6/1994	73,40	23,58	5/1/1995	1,90	1,00
7/12/1993	1,90	0,92	20/6/1994	0,70	0,17	9/1/1995	16,80	17,42
13/12/1993	46,40	7,42	24/6/1994	12,40	6,08	13/1/1995	4,80	16,08
14/12/1993	3,85	5,08	30/6/1994	43,10	16,83	16/1/1995	0,95	0,42
15/12/1993	14,60	5,58	5/7/1994	32,25	25,67	19/1/1995	7,60	0,67
16/12/1993	0,45	1,08	8/7/1994	1,45	18,00	22/1/1995	9,05	10,08
26/12/1993	6,00	2,17	22/7/1994	24,20	8,50	25/1/1995	25,75	7,67
27/12/1993	48,25	28,17	25/7/1994	2,70	5,08	1/2/1995	1,90	9,33
29/12/1993	4,00	3,33	27/7/1994	4,00	11,83	5/2/1995	6,80	6,75
8/1/1994	25,80	31,50	29/7/1994	53,10	37,58	10/2/1995	1,70	0,58
24/1/1994	41,80	22,08	2/8/1994	3,80	1,50	13/2/1995	13,55	18,83
26/1/1994	0,50	1,00	9/8/1994	11,85	13,58	15/2/1995	2,40	3,17
31/1/1994	1,40	1,00	14/8/1994	0,40	0,42	16/2/1995	2,00	1,92

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
17/2/1995	22,70	18,25	21/8/1995	2,20	3,25	31/1/1996	19,20	10,33
23/2/1995	27,55	24,42	9/9/1995	1,40	2,25	5/2/1996	1,70	2,17
28/2/1995	0,90	1,92	10/9/1995	60,40	26,50	6/2/1996	3,80	0,42
28/2/1995	16,40	4,92	13/9/1995	27,30	19,17	8/2/1996	0,40	0,17
4/3/1995	24,70	19,50	19/9/1995	29,65	17,08	10/2/1996	16,60	4,17
14/3/1995	3,40	2,58	22/9/1995	5,60	6,67	16/2/1996	0,40	0,17
22/3/1995	3,60	2,42	23/9/1995	3,00	4,08	17/2/1996	0,90	1,17
23/3/1995	3,60	6,25	26/9/1995	6,80	4,00	20/2/1996	7,50	1,00
29/3/1995	0,40	0,33	27/9/1995	16,60	20,17	23/2/1996	2,50	0,83
29/3/1995	1,30	2,75	29/9/1995	13,30	9,83	24/2/1996	18,50	22,42
31/3/1995	27,20	42,92	1/10/1995	1,40	11,50	26/2/1996	1,50	3,33
2/4/1995	4,40	5,67	4/10/1995	13,30	3,92	28/2/1996	1,20	1,08
9/4/1995	14,45	6,25	8/10/1995	0,40	1,00	29/2/1996	2,50	5,42
10/4/1995	12,50	10,08	12/10/1995	1,60	1,42	5/3/1996	2,15	6,42
12/4/1995	4,60	21,50	14/10/1995	0,40	0,50	9/3/1996	0,40	0,25
20/4/1995	12,00	10,42	18/10/1995	0,40	0,33	13/3/1996	21,60	1,33
27/4/1995	1,70	1,92	20/10/1995	1,00	0,42	17/3/1996	2,60	0,33
30/4/1995	4,25	4,17	21/10/1995	53,40	11,83	19/3/1996	2,00	2,92
1/5/1995	15,50	0,83	26/10/1995	1,20	3,08	23/3/1996	7,80	0,58
6/5/1995	27,75	19,17	27/10/1995	7,65	19,00	29/3/1996	42,50	19,50
16/5/1995	9,45	4,17	8/11/1995	0,40	0,08	1/4/1996	1,55	2,50
17/5/1995	0,90	0,75	9/11/1995	18,20	2,42	3/4/1996	21,20	4,17
29/5/1995	0,40	0,33	10/11/1995	0,40	0,83	6/4/1996	8,80	3,42
7/6/1995	11,10	5,33	13/11/1995	7,35	12,50	9/4/1996	14,35	15,67
10/6/1995	6,80	4,25	18/11/1995	1,50	10,08	15/4/1996	19,60	2,83
13/6/1995	1,30	0,92	27/11/1995	26,10	9,17	30/5/1996	9,60	19,50
15/6/1995	32,30	16,83	1/12/1995	11,90	1,75	5/6/1996	0,40	0,17
16/6/1995	29,25	47,08	22/12/1995	59,60	4,75	15/6/1996	30,30	13,67
24/6/1995	66,60	30,00	23/12/1995	35,50	14,42	17/6/1996	19,90	6,75
28/6/1995	18,40	4,42	24/12/1995	8,00	36,00	20/6/1996	33,35	25,50
1/7/1995	6,50	13,33	27/12/1995	2,60	6,00	26/6/1996	59,90	57,25
3/7/1995	2,55	4,75	5/1/1996	33,30	8,92	2/7/1996	11,40	6,83
6/7/1995	27,90	5,25	9/1/1996	8,50	1,75	7/7/1996	4,80	8,42
15/7/1995	0,60	4,00	13/1/1996	0,95	0,58	9/7/1996	3,20	1,25
16/7/1995	83,95	69,08	15/1/1996	3,70	7,00	11/7/1996	0,30	0,83
19/7/1995	31,55	37,33	17/1/1996	11,10	5,00	26/7/1996	3,20	3,42
26/7/1995	1,10	0,67	18/1/1996	14,10	10,75	6/8/1996	23,20	10,08
28/7/1995	71,10	32,33	20/1/1996	0,60	1,00	8/8/1996	22,70	10,92
30/7/1995	42,45	37,75	21/1/1996	4,10	0,42	13/8/1996	26,30	16,75
3/8/1995	34,40	15,42	22/1/1996	17,80	12,00	25/8/1996	52,00	49,08
7/8/1995	0,90	3,75	25/1/1996	20,80	10,42	30/8/1996	46,10	42,25
8/8/1995	9,40	4,00	26/1/1996	10,70	3,92	3/9/1996	9,05	10,92
9/8/1995	6,45	9,17	27/1/1996	16,60	4,17	8/9/1996	13,30	5,33
11/8/1995	10,10	10,17	28/1/1996	1,00	1,33	15/9/1996	5,60	17,92
15/8/1995	35,80	12,58	29/1/1996	7,20	3,83	22/9/1996	9,80	7,92
17/8/1995	7,00	13,75	30/1/1996	16,40	3,83	23/9/1996	1,60	1,92

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
24/9/1996	13,10	16,75	3/3/1997	0,50	0,58	14/10/1997	39,60	18,17
26/9/1996	55,30	56,17	4/3/1997	6,00	14,42	21/10/1997	12,30	20,50
30/9/1996	3,10	20,00	5/3/1997	22,65	2,50	24/10/1997	2,20	1,08
2/10/1996	3,20	6,00	12/3/1997	1,85	1,67	28/10/1997	27,60	11,50
10/10/1996	19,50	11,25	13/3/1997	5,30	0,58	29/10/1997	3,20	7,92
13/10/1996	66,60	22,08	23/3/1997	1,10	2,42	31/10/1997	9,15	28,17
18/10/1996	17,90	2,67	2/4/1997	1,10	1,33	2/11/1997	35,00	18,92
20/10/1996	8,60	5,33	4/4/1997	9,90	6,00	3/11/1997	0,70	3,42
21/10/1996	32,40	23,67	12/4/1997	9,10	1,42	5/11/1997	0,60	3,17
24/10/1996	21,40	8,92	17/4/1997	7,30	8,83	9/11/1997	1,10	1,08
31/10/1996	3,40	0,42	19/4/1997	20,55	41,92	11/11/1997	29,75	21,67
2/11/1996	11,50	2,92	24/4/1997	8,50	2,67	13/11/1997	1,75	4,00
3/11/1996	0,60	1,25	3/5/1997	0,70	0,42	17/11/1997	0,30	0,75
7/11/1996	14,20	8,33	19/5/1997	35,45	13,42	20/11/1997	3,50	2,25
9/11/1996	18,10	13,75	21/5/1997	1,85	16,83	23/11/1997	1,20	1,08
15/11/1996	34,90	16,17	27/5/1997	20,65	18,83	26/11/1997	19,75	18,25
23/11/1996	1,00	1,00	5/6/1997	4,60	5,58	28/11/1997	0,55	0,50
26/11/1996	0,95	1,42	6/6/1997	2,25	0,92	2/12/1997	0,50	1,42
30/11/1996	4,00	0,75	8/6/1997	12,30	20,25	7/12/1997	3,30	1,08
6/12/1996	21,20	12,42	13/6/1997	46,20	8,00	13/12/1997	2,10	2,50
10/12/1996	5,40	12,00	15/6/1997	1,70	10,00	14/12/1997	9,70	3,75
12/12/1996	1,10	0,17	17/6/1997	31,85	7,67	20/12/1997	0,50	0,67
13/12/1996	14,80	3,75	22/6/1997	40,45	9,75	22/12/1997	38,60	16,50
16/12/1996	44,30	17,42	24/6/1997	25,10	31,17	24/12/1997	53,90	11,17
19/12/1996	7,20	6,00	26/6/1997	0,45	0,42	27/12/1997	72,35	30,00
4/1/1997	1,50	0,42	2/7/1997	1,20	2,00	30/12/1997	5,75	2,33
8/1/1997	4,10	1,25	7/7/1997	1,60	5,25	1/1/1998	13,65	12,67
13/1/1997	5,45	2,33	16/7/1997	29,70	13,50	5/1/1998	18,65	2,58
14/1/1997	0,90	1,00	18/7/1997	42,50	71,92	6/1/1998	37,75	19,42
18/1/1997	31,40	18,25	1/8/1997	8,60	18,17	12/1/1998	1,95	8,25
23/1/1997	0,80	2,00	2/8/1997	46,20	28,58	22/1/1998	13,75	26,08
28/1/1997	0,50	0,33	6/8/1997	18,05	43,25	24/1/1998	6,85	14,25
30/1/1997	52,85	32,00	16/8/1997	31,65	7,17	26/1/1998	0,40	0,33
2/2/1997	38,95	13,42	19/8/1997	47,15	30,17	28/1/1998	6,60	8,50
4/2/1997	0,75	1,75	21/8/1997	26,30	67,92	30/1/1998	4,55	7,42
6/2/1997	25,65	17,42	31/8/1997	1,85	3,00	1/2/1998	2,55	17,17
7/2/1997	5,05	0,58	7/9/1997	0,40	0,17	2/2/1998	2,80	3,42
10/2/1997	1,80	4,33	9/9/1997	10,50	3,50	4/2/1998	20,55	5,17
12/2/1997	0,90	1,25	13/9/1997	33,80	11,75	5/2/1998	0,35	0,25
18/2/1997	2,90	0,42	20/9/1997	1,20	1,00	9/2/1998	58,00	23,33
19/2/1997	12,30	10,75	29/9/1997	1,30	1,58	23/2/1998	3,40	6,50
22/2/1997	10,20	2,58	30/9/1997	58,10	42,50	27/2/1998	35,30	39,50
23/2/1997	19,80	39,00	4/10/1997	74,60	26,00	5/3/1998	5,25	0,75
1/3/1997	2,00	3,67	8/10/1997	8,95	19,25	10/3/1998	33,20	10,17
2/3/1997	0,40	0,25	12/10/1997	10,90	4,25	12/3/1998	6,60	5,67
2/3/1997	5,10	2,25	13/10/1997	17,00	9,67	13/3/1998	44,75	24,42

Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)	Data inicial	Vol. (mm)	Dur. (h)
18/3/1998	16,50	27,08						
24/3/1998	5,60	1,00						
28/3/1998	0,30	1,17						
6/4/1998	7,35	4,50						
11/4/1998	35,85	7,08						
12/4/1998	18,80	1,83						
13/4/1998	0,30	0,08						
16/4/1998	0,40	1,08						
17/4/1998	12,80	10,42						
18/4/1998	0,30	0,33						
22/4/1998	1,35	4,33						
23/4/1998	1,40	3,58						
25/4/1998	0,80	3,00						
27/4/1998	6,35	5,75						
29/4/1998	3,05	10,50						

8. ANEXO II

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,1$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,262	78,546
0,667	0,466	61,290
1,000	0,624	47,438
1,333	0,745	36,300
1,667	0,835	26,804
2,000	0,896	18,410
2,333	0,937	12,325
2,667	0,962	7,407
3,000	0,978	4,744
3,333	0,988	2,999
3,667	0,993	1,665
4,000	0,996	0,948
4,333	0,998	0,559
4,667	0,999	0,398
5,000	1,000	0,165
5,333	1,000	0,002
5,667	1,000	0,000
6,000	1,000	0,000
6,333	1,000	0,000
6,667	1,000	0,000
7,000	1,000	0,000
7,333	1,000	0,000
7,667	1,000	0,000
8,000	1,000	0,000
8,333	1,000	0,000
8,667	1,000	0,000
9,000	1,000	0,000
9,333	1,000	0,000
9,667	1,000	0,000
10,000	1,000	0,000
10,333	1,000	0,000
10,667	1,000	0,000
11,000	1,000	0,000
11,333	1,000	0,000
11,667	1,000	0,000
12,000	1,000	0,000
12,333	1,000	0,000
12,667	1,000	0,000
13,000	1,000	0,000
13,333	1,000	0,000
13,667	1,000	0,000

14,000	1,000	0,000
14,333	1,000	0,000
14,667	1,000	0,000
15,000	1,000	0,000
15,333	1,000	0,000
15,667	1,000	0,000
16,000	1,000	0,000
16,333	1,000	0,000
16,667	1,000	0,000
17,000	1,000	0,000
17,333	1,000	0,000
17,667	1,000	0,000
18,000	1,000	0,000
18,333	1,000	0,000
18,667	1,000	0,000
19,000	1,000	0,000
19,333	1,000	0,000
19,667	1,000	0,000
20,000	1,000	0,000
20,333	1,000	0,000
20,667	1,000	0,000
21,000	1,000	0,000
21,333	1,000	0,000
21,667	1,000	0,000
22,000	1,000	0,000
22,333	1,000	0,000
22,667	1,000	0,000
23,000	1,000	0,000
23,333	1,000	0,000
23,667	1,000	0,000
24,000	1,000	0,000
24,333	1,000	0,000
24,667	1,000	0,000
25,000	1,000	0,000
25,333	1,000	0,000
25,667	1,000	0,000
26,000	1,000	0,000
26,333	1,000	0,000
26,667	1,000	0,000
27,000	1,000	0,000
27,333	1,000	0,000
27,667	1,000	0,000
28,000	1,000	0,000
28,333	1,000	0,000
28,667	1,000	0,000
29,000	1,000	0,000
29,333	1,000	0,000
29,667	1,000	0,000

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,2$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,139	41,742
0,667	0,262	36,803
1,000	0,370	32,388
1,333	0,466	28,901
1,667	0,551	25,357
2,000	0,624	22,081
2,333	0,689	19,399
2,667	0,745	16,901
3,000	0,794	14,605
3,333	0,835	12,199
3,667	0,868	9,919
4,000	0,896	8,491
4,333	0,919	7,000
4,667	0,937	5,325
5,000	0,951	4,117
5,333	0,962	3,290
5,667	0,970	2,615
6,000	0,978	2,129
6,333	0,983	1,702
6,667	0,988	1,296
7,000	0,991	0,970
7,333	0,993	0,695
7,667	0,995	0,521
8,000	0,996	0,428
8,333	0,997	0,325
8,667	0,998	0,234
9,000	0,999	0,210
9,333	0,999	0,188
9,667	1,000	0,125
10,000	1,000	0,039
10,333	1,000	0,002
10,667	1,000	0,000
11,000	1,000	0,000
11,333	1,000	0,000
11,667	1,000	0,000
12,000	1,000	0,000
12,333	1,000	0,000
12,667	1,000	0,000
13,000	1,000	0,000
13,333	1,000	0,000
13,667	1,000	0,000
14,000	1,000	0,000
14,333	1,000	0,000
14,667	1,000	0,000
15,000	1,000	0,000

15,333	1,000	0,000
15,667	1,000	0,000
16,000	1,000	0,000
16,333	1,000	0,000
16,667	1,000	0,000
17,000	1,000	0,000
17,333	1,000	0,000
17,667	1,000	0,000
18,000	1,000	0,000
18,333	1,000	0,000
18,667	1,000	0,000
19,000	1,000	0,000
19,333	1,000	0,000
19,667	1,000	0,000
20,000	1,000	0,000
20,333	1,000	0,000
20,667	1,000	0,000
21,000	1,000	0,000
21,333	1,000	0,000
21,667	1,000	0,000
22,000	1,000	0,000
22,333	1,000	0,000
22,667	1,000	0,000
23,000	1,000	0,000
23,333	1,000	0,000
23,667	1,000	0,000
24,000	1,000	0,000
24,333	1,000	0,000
24,667	1,000	0,000
25,000	1,000	0,000
25,333	1,000	0,000
25,667	1,000	0,000
26,000	1,000	0,000
26,333	1,000	0,000
26,667	1,000	0,000
27,000	1,000	0,000
27,333	1,000	0,000
27,667	1,000	0,000
28,000	1,000	0,000
28,333	1,000	0,000
28,667	1,000	0,000
29,000	1,000	0,000
29,333	1,000	0,000
29,667	1,000	0,000

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,3$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,095	28,447
0,667	0,182	26,129
1,000	0,262	23,969
1,333	0,335	21,995
1,667	0,403	20,417
2,000	0,466	18,879
2,333	0,524	17,320
2,667	0,576	15,708
3,000	0,624	14,411
3,333	0,668	13,190
3,667	0,709	12,142
4,000	0,745	10,968
4,333	0,779	9,979
4,667	0,808	8,997
5,000	0,835	7,828
5,333	0,857	6,776
5,667	0,878	6,139
6,000	0,896	5,496
6,333	0,912	4,825
6,667	0,926	4,118
7,000	0,937	3,383
7,333	0,946	2,835
7,667	0,955	2,481
8,000	0,962	2,090
8,333	0,968	1,822
8,667	0,973	1,553
9,000	0,978	1,370
9,333	0,981	1,181
9,667	0,985	1,000
10,000	0,988	0,817
10,333	0,990	0,684
10,667	0,992	0,549
11,000	0,993	0,432
11,333	0,994	0,364
11,667	0,995	0,304
12,000	0,996	0,280
12,333	0,997	0,223
12,667	0,998	0,183
13,000	0,998	0,154
13,333	0,999	0,148
13,667	0,999	0,125
14,000	0,999	0,125
14,333	1,000	0,095
14,667	1,000	0,048
15,000	1,000	0,023

15,333	1,000	0,002
15,667	1,000	0,000
16,000	1,000	0,000
16,333	1,000	0,000
16,667	1,000	0,000
17,000	1,000	0,000
17,333	1,000	0,000
17,667	1,000	0,000
18,000	1,000	0,000
18,333	1,000	0,000
18,667	1,000	0,000
19,000	1,000	0,000
19,333	1,000	0,000
19,667	1,000	0,000
20,000	1,000	0,000
20,333	1,000	0,000
20,667	1,000	0,000
21,000	1,000	0,000
21,333	1,000	0,000
21,667	1,000	0,000
22,000	1,000	0,000
22,333	1,000	0,000
22,667	1,000	0,000
23,000	1,000	0,000
23,333	1,000	0,000
23,667	1,000	0,000
24,000	1,000	0,000
24,333	1,000	0,000
24,667	1,000	0,000
25,000	1,000	0,000
25,333	1,000	0,000
25,667	1,000	0,000
26,000	1,000	0,000
26,333	1,000	0,000
26,667	1,000	0,000
27,000	1,000	0,000
27,333	1,000	0,000
27,667	1,000	0,000
28,000	1,000	0,000
28,333	1,000	0,000
28,667	1,000	0,000
29,000	1,000	0,000
29,333	1,000	0,000
29,667	1,000	0,000

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,4$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,072	21,620
0,667	0,139	20,123
1,000	0,203	19,035
1,333	0,262	17,769
1,667	0,317	16,650
2,000	0,370	15,739
2,333	0,419	14,871
2,667	0,466	14,030
3,000	0,510	13,149
3,333	0,551	12,208
3,667	0,589	11,412
4,000	0,624	10,670
4,333	0,658	9,982
4,667	0,689	9,417
5,000	0,718	8,778
5,333	0,745	8,124
5,667	0,771	7,584
6,000	0,794	7,021
6,333	0,815	6,443
6,667	0,835	5,756
7,000	0,852	5,155
7,333	0,868	4,763
7,667	0,882	4,414
8,000	0,896	4,078
8,333	0,908	3,686
8,667	0,919	3,313
9,000	0,929	2,843
9,333	0,937	2,482
9,667	0,944	2,158
10,000	0,951	1,959
10,333	0,957	1,751
10,667	0,962	1,539
11,000	0,966	1,389
11,333	0,970	1,226
11,667	0,974	1,131
12,000	0,978	0,998
12,333	0,981	0,904
12,667	0,983	0,798
13,000	0,986	0,702
13,333	0,988	0,595
13,667	0,989	0,524
14,000	0,991	0,446
14,333	0,992	0,381
14,667	0,993	0,314
15,000	0,994	0,276

15,333	0,995	0,245
15,667	0,996	0,222
16,000	0,996	0,206
16,333	0,997	0,167
16,667	0,997	0,158
17,000	0,998	0,119
17,333	0,998	0,115
17,667	0,999	0,115
18,000	0,999	0,095
18,333	0,999	0,094
18,667	0,999	0,094
19,000	1,000	0,075
19,333	1,000	0,050
19,667	1,000	0,025
20,000	1,000	0,015
20,333	1,000	0,002
20,667	1,000	0,000
21,000	1,000	0,000
21,333	1,000	0,000
21,667	1,000	0,000
22,000	1,000	0,000
22,333	1,000	0,000
22,667	1,000	0,000
23,000	1,000	0,000
23,333	1,000	0,000
23,667	1,000	0,000
24,000	1,000	0,000
24,333	1,000	0,000
24,667	1,000	0,000
25,000	1,000	0,000
25,333	1,000	0,000
25,667	1,000	0,000
26,000	1,000	0,000
26,333	1,000	0,000
26,667	1,000	0,000
27,000	1,000	0,000
27,333	1,000	0,000
27,667	1,000	0,000
28,000	1,000	0,000
28,333	1,000	0,000
28,667	1,000	0,000
29,000	1,000	0,000
29,333	1,000	0,000
29,667	1,000	0,000

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,5$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,058	17,426
0,667	0,113	16,386
1,000	0,165	15,696
1,333	0,215	14,934
1,667	0,262	14,103
2,000	0,306	13,404
2,333	0,349	12,796
2,667	0,390	12,242
3,000	0,429	11,680
3,333	0,466	11,168
3,667	0,501	10,595
4,000	0,535	9,999
4,333	0,566	9,402
4,667	0,596	8,968
5,000	0,624	8,474
5,333	0,651	8,038
5,667	0,677	7,668
6,000	0,701	7,300
6,333	0,724	6,844
6,667	0,745	6,449
7,000	0,766	6,110
7,333	0,785	5,736
7,667	0,803	5,427
8,000	0,819	4,982
8,333	0,835	4,549
8,667	0,848	4,155
9,000	0,861	3,892
9,333	0,874	3,692
9,667	0,885	3,426
10,000	0,896	3,246
10,333	0,906	2,985
10,667	0,915	2,727
11,000	0,923	2,478
11,333	0,930	2,172
11,667	0,937	1,964
12,000	0,943	1,745
12,333	0,948	1,615
12,667	0,953	1,489
13,000	0,958	1,336
13,333	0,962	1,222
13,667	0,965	1,125
14,000	0,969	1,025
14,333	0,972	0,923
14,667	0,975	0,890
15,000	0,978	0,782

15,333	0,980	0,729
15,667	0,982	0,666
16,000	0,984	0,601
16,333	0,986	0,533
16,667	0,988	0,469
17,000	0,989	0,426
17,333	0,990	0,379
17,667	0,991	0,327
18,000	0,992	0,287
18,333	0,993	0,246
18,667	0,994	0,222
19,000	0,995	0,209
19,333	0,995	0,178
19,667	0,996	0,177
20,000	0,996	0,162
20,333	0,997	0,134
20,667	0,997	0,131
21,000	0,998	0,110
21,333	0,998	0,092
21,667	0,998	0,092
22,000	0,998	0,092
22,333	0,999	0,080
22,667	0,999	0,075
23,000	0,999	0,075
23,333	0,999	0,075
23,667	1,000	0,064
24,000	1,000	0,046
24,333	1,000	0,026
24,667	1,000	0,019
25,000	1,000	0,010
25,333	1,000	0,002
25,667	1,000	0,000
26,000	1,000	0,000
26,333	1,000	0,000
26,667	1,000	0,000
27,000	1,000	0,000
27,333	1,000	0,000
27,667	1,000	0,000
28,000	1,000	0,000
28,333	1,000	0,000
28,667	1,000	0,000
29,000	1,000	0,000
29,333	1,000	0,000
29,667	1,000	0,000

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,6$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,049	14,592
0,667	0,095	13,855
1,000	0,139	13,295
1,333	0,182	12,834
1,667	0,223	12,279
2,000	0,262	11,691
2,333	0,299	11,218
2,667	0,335	10,777
3,000	0,370	10,394
3,333	0,403	10,023
3,667	0,435	9,599
4,000	0,466	9,279
4,333	0,496	8,879
4,667	0,524	8,441
5,000	0,551	8,037
5,333	0,576	7,671
5,667	0,601	7,384
6,000	0,624	7,027
6,333	0,647	6,731
6,667	0,668	6,459
7,000	0,689	6,209
7,333	0,709	5,934
7,667	0,727	5,622
8,000	0,745	5,346
8,333	0,762	5,114
8,667	0,779	4,866
9,000	0,794	4,626
9,333	0,808	4,371
9,667	0,822	4,070
10,000	0,835	3,758
10,333	0,846	3,477
10,667	0,857	3,298
11,000	0,868	3,143
11,333	0,878	2,996
11,667	0,887	2,801
12,000	0,896	2,694
12,333	0,904	2,509
12,667	0,912	2,316
13,000	0,919	2,175
13,333	0,926	1,943
13,667	0,932	1,758
14,000	0,937	1,625
14,333	0,942	1,466
14,667	0,946	1,369
15,000	0,951	1,282

15,333	0,955	1,200
15,667	0,958	1,077
16,000	0,962	1,013
16,333	0,965	0,945
16,667	0,968	0,877
17,000	0,970	0,793
17,333	0,973	0,759
17,667	0,975	0,727
18,000	0,978	0,643
18,333	0,980	0,612
18,667	0,981	0,569
19,000	0,983	0,521
19,333	0,985	0,479
19,667	0,986	0,429
20,000	0,988	0,388
20,333	0,989	0,358
20,667	0,990	0,326
21,000	0,991	0,286
21,333	0,992	0,263
21,667	0,992	0,229
22,000	0,993	0,204
22,333	0,994	0,187
22,667	0,994	0,177
23,000	0,995	0,156
23,333	0,995	0,148
23,667	0,996	0,146
24,000	0,996	0,134
24,333	0,997	0,111
24,667	0,997	0,111
25,000	0,997	0,103
25,333	0,998	0,080
25,667	0,998	0,077
26,000	0,998	0,077
26,333	0,998	0,077
26,667	0,999	0,071
27,000	0,999	0,063
27,333	0,999	0,063
27,667	0,999	0,063
28,000	0,999	0,063
28,333	1,000	0,053
28,667	1,000	0,041
29,000	1,000	0,031
29,333	1,000	0,017
29,667	1,000	0,015

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,7$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,042	12,551
0,667	0,082	12,023
1,000	0,120	11,519
1,333	0,158	11,218
1,667	0,194	10,823
2,000	0,229	10,425
2,333	0,262	9,989
2,667	0,294	9,644
3,000	0,325	9,304
3,333	0,355	9,034
3,667	0,384	8,741
4,000	0,412	8,476
4,333	0,440	8,152
4,667	0,466	7,939
5,000	0,492	7,644
5,333	0,516	7,305
5,667	0,539	7,021
6,000	0,562	6,717
6,333	0,583	6,487
6,667	0,604	6,264
7,000	0,624	6,000
7,333	0,644	5,786
7,667	0,662	5,575
8,000	0,680	5,409
8,333	0,698	5,221
8,667	0,714	4,978
9,000	0,730	4,766
9,333	0,745	4,565
9,667	0,760	4,392
10,000	0,774	4,229
10,333	0,787	4,019
10,667	0,800	3,886
11,000	0,812	3,639
11,333	0,824	3,436
11,667	0,835	3,203
12,000	0,845	2,991
12,333	0,854	2,868
12,667	0,863	2,729
13,000	0,872	2,636
13,333	0,880	2,503
13,667	0,888	2,380
14,000	0,896	2,304
14,333	0,903	2,164
14,667	0,910	2,013
15,000	0,916	1,906

15,333	0,922	1,776
15,667	0,928	1,604
16,000	0,932	1,476
16,333	0,937	1,385
16,667	0,941	1,265
17,000	0,945	1,187
17,333	0,949	1,126
17,667	0,953	1,063
18,000	0,956	0,998
18,333	0,959	0,903
18,667	0,962	0,865
19,000	0,964	0,814
19,333	0,967	0,761
19,667	0,969	0,710
20,000	0,972	0,659
20,333	0,974	0,644
20,667	0,976	0,610
21,000	0,978	0,547
21,333	0,979	0,528
21,667	0,981	0,497
22,000	0,982	0,461
22,333	0,984	0,429
22,667	0,985	0,396
23,000	0,986	0,357
23,333	0,988	0,331
23,667	0,989	0,308
24,000	0,990	0,285
24,333	0,990	0,261
24,667	0,991	0,232
25,000	0,992	0,215
25,333	0,993	0,191
25,667	0,993	0,174
26,000	0,994	0,162
26,333	0,994	0,152
26,667	0,995	0,144
27,000	0,995	0,127
27,333	0,995	0,127
27,667	0,996	0,124
28,000	0,996	0,114
28,333	0,997	0,095
28,667	0,997	0,095
29,000	0,997	0,091
29,333	0,997	0,079
29,667	0,998	0,066

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,8$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,037	11,010
0,667	0,072	10,610
1,000	0,106	10,188
1,333	0,139	9,935
1,667	0,171	9,681
2,000	0,203	9,354
2,333	0,233	9,050
2,667	0,262	8,718
3,000	0,290	8,455
3,333	0,317	8,195
3,667	0,344	7,984
4,000	0,370	7,754
4,333	0,395	7,553
4,667	0,419	7,319
5,000	0,443	7,094
5,333	0,466	6,937
5,667	0,488	6,706
6,000	0,510	6,443
6,333	0,531	6,228
6,667	0,551	5,980
7,000	0,570	5,780
7,333	0,589	5,632
7,667	0,607	5,438
8,000	0,624	5,232
8,333	0,641	5,076
8,667	0,658	4,906
9,000	0,673	4,787
9,333	0,689	4,630
9,667	0,704	4,487
10,000	0,718	4,291
10,333	0,732	4,138
10,667	0,745	3,986
11,000	0,758	3,848
11,333	0,771	3,736
11,667	0,782	3,566
12,000	0,794	3,455
12,333	0,805	3,312
12,667	0,815	3,131
13,000	0,825	2,967
13,333	0,835	2,789
13,667	0,843	2,623
14,000	0,852	2,532
14,333	0,860	2,416
14,667	0,868	2,347
15,000	0,875	2,266

15,333	0,882	2,148
15,667	0,889	2,065
16,000	0,896	2,012
16,333	0,902	1,901
16,667	0,908	1,785
17,000	0,914	1,695
17,333	0,919	1,618
17,667	0,924	1,475
18,000	0,929	1,368
18,333	0,933	1,276
18,667	0,937	1,206
19,000	0,941	1,112
19,333	0,944	1,046
19,667	0,948	1,009
20,000	0,951	0,951
20,333	0,954	0,909
20,667	0,957	0,841
21,000	0,959	0,784
21,333	0,962	0,755
21,667	0,964	0,715
22,000	0,966	0,674
22,333	0,968	0,640
22,667	0,970	0,586
23,000	0,972	0,570
23,333	0,974	0,561
23,667	0,976	0,520
24,000	0,978	0,477
24,333	0,979	0,466
24,667	0,981	0,438
25,000	0,982	0,411
25,333	0,983	0,387
25,667	0,984	0,364
26,000	0,986	0,337
26,333	0,987	0,305
26,667	0,988	0,290
27,000	0,988	0,271
27,333	0,989	0,252
27,667	0,990	0,238
28,000	0,991	0,208
28,333	0,991	0,200
28,667	0,992	0,182
29,000	0,993	0,163
29,333	0,993	0,151
29,667	0,994	0,143

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 0,9$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,033	9,805
0,667	0,064	9,493
1,000	0,095	9,149
1,333	0,125	8,907
1,667	0,154	8,727
2,000	0,182	8,495
2,333	0,209	8,242
2,667	0,236	7,991
3,000	0,262	7,737
3,333	0,287	7,525
3,667	0,311	7,324
4,000	0,335	7,145
4,333	0,358	6,971
4,667	0,381	6,799
5,000	0,403	6,646
5,333	0,425	6,444
5,667	0,446	6,278
6,000	0,466	6,157
6,333	0,486	5,973
6,667	0,505	5,761
7,000	0,524	5,586
7,333	0,542	5,409
7,667	0,559	5,226
8,000	0,576	5,073
8,333	0,593	4,964
8,667	0,609	4,808
9,000	0,624	4,639
9,333	0,639	4,519
9,667	0,654	4,384
10,000	0,668	4,286
10,333	0,682	4,168
10,667	0,696	4,064
11,000	0,709	3,910
11,333	0,721	3,777
11,667	0,733	3,654
12,000	0,745	3,537
12,333	0,757	3,424
12,667	0,768	3,345
13,000	0,779	3,210
13,333	0,789	3,100
13,667	0,799	3,025
14,000	0,808	2,871
14,333	0,818	2,745
14,667	0,826	2,615
15,000	0,835	2,468

15,333	0,842	2,336
15,667	0,850	2,266
16,000	0,857	2,173
16,333	0,864	2,111
16,667	0,871	2,049
17,000	0,878	1,979
17,333	0,884	1,881
17,667	0,890	1,828
18,000	0,896	1,786
18,333	0,902	1,695
18,667	0,907	1,604
19,000	0,912	1,525
19,333	0,917	1,465
19,667	0,922	1,386
20,000	0,926	1,267
20,333	0,930	1,191
20,667	0,933	1,123
21,000	0,937	1,068
21,333	0,940	0,993
21,667	0,943	0,935
22,000	0,946	0,907
22,333	0,949	0,862
22,667	0,952	0,828
23,000	0,955	0,791
23,333	0,957	0,727
23,667	0,960	0,693
24,000	0,962	0,670
24,333	0,964	0,637
24,667	0,966	0,606
25,000	0,968	0,579
25,333	0,970	0,537
25,667	0,971	0,513
26,000	0,973	0,503
26,333	0,975	0,493
26,667	0,976	0,454
27,000	0,978	0,424
27,333	0,979	0,416
27,667	0,980	0,391
28,000	0,981	0,374
28,333	0,983	0,354
28,667	0,984	0,332
29,000	0,985	0,314
29,333	0,986	0,293
29,667	0,987	0,267

Resultados do algoritmo de maximização para $C = 1,0$.

Volume normalizado detenção %	Razão de captura de volume	Declividade da reta tangente
0,000	0,000	-
0,333	0,029	8,839
0,667	0,058	8,588
1,000	0,086	8,317
1,333	0,113	8,069
1,667	0,139	7,930
2,000	0,165	7,766
2,333	0,190	7,561
2,667	0,215	7,373
3,000	0,239	7,149
3,333	0,262	6,955
3,667	0,284	6,781
4,000	0,306	6,622
4,333	0,328	6,460
4,667	0,349	6,337
5,000	0,370	6,188
5,333	0,390	6,053
5,667	0,410	5,923
6,000	0,429	5,756
6,333	0,448	5,634
6,667	0,466	5,534
7,000	0,484	5,384
7,333	0,501	5,212
7,667	0,518	5,066
8,000	0,535	4,934
8,333	0,551	4,762
8,667	0,566	4,640
9,000	0,581	4,536
9,333	0,596	4,431
9,667	0,610	4,306
10,000	0,624	4,168
10,333	0,638	4,072
10,667	0,651	3,966
11,000	0,664	3,874
11,333	0,677	3,795
11,667	0,689	3,692
12,000	0,701	3,608
12,333	0,713	3,474
12,667	0,724	3,371
13,000	0,735	3,270
13,333	0,745	3,179
13,667	0,756	3,085
14,000	0,766	3,026
14,333	0,775	2,921
14,667	0,785	2,815
15,000	0,794	2,759

15,333	0,803	2,668
15,667	0,811	2,538
16,000	0,819	2,444
16,333	0,827	2,338
16,667	0,835	2,212
17,000	0,842	2,107
17,333	0,848	2,048
17,667	0,855	1,980
18,000	0,861	1,911
18,333	0,868	1,872
18,667	0,874	1,820
19,000	0,880	1,745
19,333	0,885	1,681
19,667	0,891	1,640
20,000	0,896	1,606
20,333	0,901	1,531
20,667	0,906	1,454
21,000	0,911	1,388
21,333	0,915	1,339
21,667	0,919	1,288
22,000	0,923	1,190
22,333	0,927	1,120
22,667	0,930	1,052
23,000	0,934	1,005
23,333	0,937	0,959
23,667	0,940	0,898
24,000	0,943	0,847
24,333	0,946	0,824
24,667	0,948	0,791
25,000	0,951	0,758
25,333	0,953	0,732
25,667	0,956	0,696
26,000	0,958	0,640
26,333	0,960	0,621
26,667	0,962	0,601
27,000	0,964	0,575
27,333	0,965	0,550
27,667	0,967	0,524
28,000	0,969	0,501
28,333	0,970	0,465
28,667	0,972	0,457
29,000	0,973	0,451
29,333	0,975	0,439
29,667	0,976	0,401

9. ANEXO III

Planilha de cálculo da eficiência da remoção de poluentes (sólidos em suspensão).

Eficiência da remoção de TSS Volume maximizado - esvaziamento em 24 h

Estatísticas

	Vol	Dur	Int	Intervalo	r
Média	15,39389	10,73322	2,181655	107,3218	0,597365
CV	1,232152	1,157657	1,293839	0,87046	

Área contribuinte (m2)
100000

Área impermeável (%) C
10 0,11045

Área necessária para amortecimento - 2% da área impermeável - (m2) - (Ab)
200

Volume necessário para amortecimento - maximizado - (m3) (VB)
389,2901

Altura necessária (m)
1,946451

Parâmetros do escoamento

QR VR
24,09638 170,0255

Taxa de aplicação (m/h) (QR/Ab)
0,120482

Dados de sedimentação (ver EPA)			n	z (%)
			1	100
Fração	Vel média (m/h)	RL (%)	RI (%)	
1	0,009144	0,070541	6,685583	
2	0,09144	0,43148	24,58233	
3	0,4572	0,791439	58,98974	
4	2,1336	0,946549	86,89037	
5	19,812	0,993955	98,3999	
		RLM (%)	55,11	

fd
0,448904

Condição quiescente

Relação VB/VR
2,289598

Fração	E	Fig 4.4 VE/VR	Fig 4.5 RD (%)
1	1,154357	1,75	77,7
2	11,54357	2,2	83
3	57,71786	2,3	85
4	269,35	2,3	85

5	2501,107	2,3	85
		RDM (%)	83,14
fa		RLDM (%)	
0,1686		92,43	

Eficiência da remoção de TSS Volume maximizado - esvaziamento em 24 h

Estatísticas

	Vol	Dur	Int	Intervalo	R
Média	15,39389	10,73322	2,181655	107,3218	0,597365
CV	1,232152	1,157657	1,293839	0,87046	

Área contribuinte (m2)
100000

Área impermeável (%) C
10 0,11045

Área necessária para amortecimento - h=1 m - (m2) - (Ab)
389,2901

Volume necessário para amortecimento - maximizado - (m3) (VB)
389,2901

Altura necessária (m)
1

Parâmetros do escoamento

QR VR
24,09638 170,0255

Taxa de aplicação (m/h) (QR/Ab)
0,061898

Dados de sedimentação (ver EPA)			n	z (%)
Fração	Vel média (m/h)	RL (%)	1	100
1	0,009144	0,128712	9,271262	
2	0,09144	0,596329	36,93823	
3	0,4572	0,880758	73,50195	
4	2,1336	0,971807	92,80234	
5	19,812	0,996885	99,17149	
		RLM (%)	62,34	

fd
0,376629

Condição quiescente

Relação VB/VR
2,289598

Fração	E	Fig 4.4 VE/VR	Fig 4.5 RD (%)
1	2,246899	1,8	78
2	22,46899	2,2	83
3	112,345	2,3	85
4	524,2765	2,3	85
5	4868,282	2,3	85
		RDM (%)	83,2

fa RLDM (%)
0,168 93,67

10. ANEXO IV

Planilha de cálculo de custo por m³ de bacias de detenção.

Volume maximizado - esvaziamento em 24 h

Área necessária para amortecimento - 2% da área impermeável

Custo por m3 da bacia de detenção

Área impermeável (%)	C
10	0,11045

Área necessária para amortecimento - 2% da área impermeável - (m2) - (Ab)
200

Volume necessário para amortecimento - maximizado - (m3) (VB)
389,2901

Altura necessária (m)
1,946451

Bacia retangular b x 2b com taludes 1:2

Volume	389,2901
Área média	200
Área fundo	98,36764
Altura	1,946451
Largura	10
Comprimento	20

Serviço	Quant.	Unid	Preço unit	Preço tot.
Escavação mecânica	428,22	m3	8,20	3511,40
Escavação manual	38,93	m3	26,33	1025,00
Transporte até 2km	428,22	m3	9,58	4102,34
Transporte excedente	2997,53	m3 x km	1,77	5305,64
Grama	359,51	m2	14,27	5130,23
Cerca	136,00	m2	51,94	7063,84
Distopistivos e/s	1,00	vb	6000,00	6000,00

Total R\$ 32138,44

R\$/m3 82,56

