

**FÁBIO CUNHA LOFRANO  
FELIPE FERREIRA DIAS  
FERNANDA DIAS RADESCA  
HAYDÉE SVAB**

**AVALIAÇÃO DE MELHORES PRÁTICAS DE GESTÃO PARA  
REQUALIFICAÇÃO URBANA DA BACIA DO BANANAL NA  
REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO**

Projeto de Formatura apresentado à  
Escola Politécnica da Universidade de  
São Paulo, no âmbito do Curso de  
Engenharia Ambiental

Orientador:  
Prof. Dr. Renato Carlos Zambon

São Paulo  
2011

## AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias por todo o amor, carinho, suporte e afeto que nos dão. Todos estes elementos certamente estão presentes nesse trabalho.

Ao nosso colega e amigo, Marcus Vinicius Bergonzini do Prado, pelo empenho como representante da turma ao mediar os diálogos com a coordenação do Trabalho de Formatura.

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dione Mari Morita, pelo zelo, suporte e direcionamento oferecidos em seu papel de coordenadora dos Trabalhos de Formatura no âmbito da Engenharia Ambiental em 2011.

Ao Me. Sidnei Ono, à Dr.<sup>a</sup> Ana Paula Zubiaurre Brites, ao consultor Eng. Luiz Fernando Orsini de Lima Yazaki e ao Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera, pela indicação e fornecimento de dados e referências.

Aos nossos colegas, amigos e companheiros: Diego Rabatone Oliveira, Júlia Vansetti Miranda, Marcelo Rubens Galdiano Duarte e Mariana Pereira Guimarães, pelas colaborações e contribuições com materiais e referências, mas principalmente por estarem ao nosso lado todos os dias e saberem pelo o que passamos para concluir o presente trabalho. É com muito amor que dizemos que somos eternamente agradecidos. Este trabalho não seria o mesmo sem vocês.

Ao Prof. Dr. Kamel Zahed Filho, pela indicação e fornecimento de dados e referências e pelas inestimáveis contribuições gentil e informalmente oferecidas durante as reuniões ao longo de todo o ano.

Por fim, ao nosso professor, orientador e amigo, Prof. Dr. Renato Carlos Zambon, pela disposição, paciência, auxílio e atenção dispendidas ao longo de todas as reuniões semanais realizadas desde o final de 2010 e no decorrer do ano de 2011. A experiência de elaborar este trabalho sob sua orientação está indelevelmente registrada em nossas memórias e nossos corações.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	II
ÍNDICE .....	III
RESUMO EXECUTIVO .....	VI
LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO .....	3
2.1 Localização .....	3
2.2 Dados gerais .....	5
2.2.1 População .....	5
2.2.2 Climatologia e pluviometria .....	6
2.2.3 Topografia, geologia e geomorfologia .....	6
2.2.4 Vegetação .....	8
2.2.5 Saneamento básico .....	9
2.2.6 Densidade viária .....	11
2.2.7 Aplicação de recursos pelo poder público .....	12
2.3 Visitas de campo .....	14
3 ESTUDOS PRÉVIOS .....	19
3.1 Plano da subprefeitura da Freguesia/Brasilândia .....	19
3.2 Visita à Praça das Corujas, São Paulo – SP .....	20
3.3 Plano de Bacia Urbana (Cabuçu de Baixo e Bananal) .....	23
3.4 Aplicação de <i>Wetland</i> Construída na Bacia do Córrego Corumbé .....	24
3.5 Visita ao “Piscinão Grã Bretanha”, Santo André – SP .....	25
4 DIAGNÓSTICO DA BACIA DO BANANAL .....	29
4.1 Modelagem da Bacia .....	29
4.1.1 Área das sub-bacias .....	30
4.1.2 Valor de CN (Curve Number) .....	30
4.1.3 Comprimento do talvegue principal e declividade média .....	32
4.1.4 Tempo de concentração e intensidade de precipitação .....	33
4.2 Simulação de Cenários .....	34
4.2.1 Cenário 0: Estado atual .....	34
4.2.2 Cenário 1: Implantação de Reservatório <i>In-line</i> no Córrego Corumbé .....	38
4.2.3 Cenário 2: Implantação de Reservatório <i>Off-line</i> no Córrego Corumbé .....	43
4.3 Avaliação dos Cenários .....	47
5 DESCRIÇÃO DAS ALTERNATIVAS .....	49
5.1 Trincheira de infiltração .....	50
5.2 Bacia de infiltração .....	51

5.3	Pavimento modular.....	52
5.4	Pavimento poroso.....	52
5.5	Filtro de areia.....	53
5.6	Faixa de filtro gramada.....	54
5.7	Bacia de retenção (alagada).....	54
5.8	Bacia de detenção estendida (seca).....	55
5.9	Wetland.....	56
5.10	Canal gramado.....	58
5.11	Bacia de detenção comunitária.....	59
5.12	Educação ambiental.....	60
5.13	Limpeza de ruas.....	60
5.14	Coleta de resíduos sólidos.....	61
5.15	Parque linear.....	61
6	ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO.....	63
6.1	Definição de critérios e subcritérios.....	63
6.1.1	Ambiental.....	63
6.1.2	Econômico/Financeiro.....	65
6.1.3	Técnico.....	65
6.1.4	Social.....	68
6.1.5	Político.....	69
6.1.6	Estético.....	70
6.2	Atribuição de pesos relativos aos subcritérios.....	70
6.3	Valoração das BMPs.....	76
6.4	Grupos decisores.....	78
6.4.1	G1 – Gestores públicos.....	79
6.4.2	G2 – Corpo técnico.....	79
6.4.3	G3 – Comunidade local.....	80
6.5	Classificação das BMPs por grupos decisores.....	80
7	ESCOLHA E ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	82
7.1	Justificativa.....	82
7.2	Concepção.....	83
7.3	Dimensionamento.....	83
7.3.1	Trincheiras de infiltração.....	83
7.3.2	Canais gramados.....	85
7.3.3	Parque linear.....	88
7.3.4	Limpeza de ruas.....	90
7.3.5	Coleta de resíduos sólidos.....	90
7.4	Estimativa de custo.....	91
7.4.1	Trincheiras de infiltração.....	91
7.4.2	Canais gramados.....	92

7.4.3	Parque linear .....	93
7.4.4	Limpeza de ruas .....	94
7.4.5	Coleta de resíduos sólidos .....	94
7.5	Aspectos econômico-financeiros para a implantação da solução .....	96
7.5.1	Custo total de implantação das BMPs .....	96
7.5.2	Análise das contas públicas .....	97
7.6	Avaliação dos resultados .....	99
7.6.1	Consideração das BMPs na modelagem da bacia .....	99
7.6.2	Resultados para período de retorno de 10 anos.....	100
7.6.3	Resultados para período de retorno de 5 anos.....	102
7.6.4	Resultados para período de retorno de 2 anos.....	104
7.6.5	Discussão dos resultados das análises .....	107
8	CONCLUSÃO .....	108
8.1	Limitações dos resultados hidrológicos .....	108
8.2	Limitações da Análise de Decisão Multicritério.....	109
8.3	Comentários finais.....	110
9	REFERÊNCIAS .....	112
	ANEXOS.....	118

## RESUMO EXECUTIVO

No presente trabalho foi avaliada uma série de “melhores práticas de gestão” de recursos hídricos (ou, do inglês, BMPs: *best management practices*), estruturais e não estruturais, como forma de se requalificar urbanisticamente uma zona degradada na Região Metropolitana de São Paulo.

A área de estudo escolhida foi a bacia do Bananal, localizada na região conhecida como Brasilândia, zona norte de São Paulo, sub-bacia do Cabuçu de Baixo e próxima à Serra da Cantareira. Essa escolha se deu pelos seguintes motivos:

- Grande grau de deterioração da qualidade urbana e de vida;
- Disponibilidade de dados em função da grande quantidade de estudos já realizados no local;
- Importância do local do ponto de vista de recursos hídricos, devido à sua proximidade à Serra da Cantareira;
- Existência de reservatório de detenção na região que, no estado em que se encontra (conforme discutido no trabalho) provavelmente leva ao acirramento da degradação da região.

Foram estudados vários cenários para efeito de comparação:

- Cenário atual, para permitir a mensuração do ganho de resposta nos indicadores de qualidade das soluções propostas;
- Cenário com implantação das BMPs sugeridas;
- Cenários com a implantação de reservatórios de detenção *in-line* e *off-line* (os tradicionais “piscinões”) na região do Córrego do Corumbé, a montante do reservatório do Bananal.

A bacia do Bananal foi subdividida em cinco sub-bacias, para avaliação de uso e ocupação do solo e posterior modelagem hidráulico-hidrológica.

As BMPs foram estudadas sob a aplicação de uma Análise de Decisão Multicritério (ADMC) que levou em conta critérios ambientais, técnicos, econômico-financeiros, sociais e políticos, além de ter sido realizada para três diferentes grupos decisores: gestores públicos, corpo técnico e comunidade local – permitindo a mensuração das

respostas em função das diferentes motivações e anseios da ótica de cada um desses agentes.

Os resultados da ADMC apontaram para a necessidade de implantação de trincheiras de infiltração, canais gramados e parque linear, soluções essas que devem ser conjugadas à limpeza de ruas e coleta de resíduos sólidos de modo a desenvolverem seu máximo potencial de geração de benefícios ao local.

Esse grupo de soluções foi pré-dimensionado e, posteriormente, teve seus custos de implantação e manutenção estimados.

Por fim, uma análise crítica dos resultados é realizada, assim como recomendações de aprofundamento dos métodos aqui empregados em eventuais estudos futuros.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo (BARROS, 2005). .....	3
Figura 2. Divisões administrativas da Bacia do rio Cabuçu de Baixo (BARROS, 2005). .....	4
Figura 3. Subdivisão da bacia hidrográfica do córrego Bananal. ....	5
Figura 4. Mapa de tipologia geomorfológica (BARROS, 2005). .....	6
Figura 5. Mapa de tipologia geológica (BARROS, 2005). .....	7
Figura 6. Mapa de declividade do terreno (BARROS, 2005). .....	8
Figura 7. Mapa de cobertura vegetal (BARROS, 2005). .....	9
Figura 8. Sistema de abastecimento de água na região do Cabuçu de Baixo (BARROS, 2005). .....	10
Figura 9. Sistema de coleta de esgoto sanitário na região do Cabuçu de Baixo (BARROS, 2005). ...	10
Figura 10. Atendimento de coleta de lixo no Cabuçu de Baixo (BARROS, 2005). .....	11
Figura 11. Reservatório de detenção do Bananal visto a partir da Av. Gal. Penha Brasil. ....	14
Figura 12. Acesso ao reservatório de detenção do Bananal, em más condições. ....	15
Figura 13. Reservatório de detenção do Bananal visto de montante para jusante. ....	16
Figura 14. Marcas de equipamentos de dragagem no reservatório de detenção do Bananal. ....	16
Figura 15. Cavalos utilizando o reservatório de detenção do Bananal como pasto. ....	17
Figura 16. Seção de controle do córrego Bananal, na entrada do reservatório de detenção. ....	18
Figura 17. Dispositivo de controle do reservatório de detenção do Bananal. ....	18
Figura 18. Placa de identificação da Praça Dolores Ibarruri (Praça das Corujas). ....	21
Figura 19. Imagem de satélite da região do Parque das Corujas (indicador vermelho). ....	21
Figura 20. Escada de dissipação com fundo empedrado e diques. ....	22
Figura 21. Canal gramado (com trecho em pedras) sob travessia em madeira. ....	22
Figura 22. Zona de lazer infantil. ....	23
Figura 23. Placa na entrada do Piscinão Grã Bretanha. ....	25
Figura 24. Foto de satélite com localização do reservatório de detenção Grã Bretanha. ....	26
Figura 25. Vistas do reservatório de detenção a partir da guarita. ....	26
Figura 26. Vista da avenida Grã-Bretanha e do ribeirão dos Meninos. ....	27
Figura 27. Estruturas do reservatório de detenção. ....	28
Figura 28. Subdivisão da bacia hidrográfica do córrego Bananal. ....	29
Figura 29. Sobreposição da delimitação das sub-bacias com imagem de satélite. ....	31
Figura 30. Uso e ocupação do solo segundo critérios do SCS para a Bacia do Bananal. ....	31
Figura 31. Cenário 0: Topologia adotada para a Bacia do Bananal. ....	34
Figura 32. Projeto implantado (planta e corte) do reservatório do Bananal. ....	35
Figura 33. Curva cota-volume do reservatório de detenção do Bananal. ....	36
Figura 34. Curva cota-descarga do reservatório de detenção do Bananal. ....	36
Figura 35. Cenário 0: Hidrograma de montante no reservatório do Bananal. ....	37
Figura 36. Cenário 0: Hidrograma de jusante no reservatório do Bananal. ....	37
Figura 37. Cenário 0: Limnigrama no reservatório do Bananal. ....	38
Figura 38. Cenário 0: Volume armazenado no reservatório do Bananal. ....	38

Figura 39. Localização do Reservatório de Detenção do Corumbé. ....	39
Figura 40. Cenário 1: Topologia adotada para a Bacia do Bananal. ....	39
Figura 41. Cenário 1: Hidrograma de montante no reservatório do Bananal. ....	41
Figura 42. Cenário 1: Hidrograma de jusante no reservatório do Bananal. ....	42
Figura 43. Cenário 1: Limnigrama no reservatório do Bananal. ....	42
Figura 44. Cenário 1: Volume armazenado no reservatório do Bananal. ....	43
Figura 45. Cenário 2: Topologia adotada para a Bacia do Bananal. ....	44
Figura 46. Cenário 2: Hidrograma de montante no reservatório do Bananal. ....	45
Figura 47. Cenário 2: Hidrograma de jusante no reservatório do Bananal. ....	45
Figura 48. Cenário 2: Limnigrama no reservatório do Bananal. ....	46
Figura 49. Cenário 2: Volume armazenado no reservatório do Bananal. ....	46
Figura 50. Hidrogramas de amortecimento na sub-bacia 3 para TR = 10 anos. ....	47
Figura 51. Hidrogramas de amortecimento no Reservatório do Bananal. ....	48
Figura 52. Seção típica de trincheira de infiltração (SOUZA, 2002). ....	50
Figura 53. Esquema de bacia de infiltração <i>off-line</i> (TOMAZ, 2006). ....	51
Figura 54. Corte típico de uma bacia de infiltração <i>off-line</i> (FREITAS et. al., 2011). ....	51
Figura 55. Pavimento modular (blocos vazados e intertravados) em estacionamento. ....	52
Figura 56. Concreto poroso asfáltico (CPA) mostrando sua propriedade drenante. ....	53
Figura 57. Seções transversais de diversos tipos de filtros de areia (TOMAZ, 2006). ....	53
Figura 58. Faixa de filtro gramada à beira de um córrego. ....	54
Figura 59. Bacia de retenção (TOMAZ, 2006). ....	55
Figura 60. Esquema de reservatório de detenção, com seus principais constituintes. ....	55
Figura 61. Foto aérea do “piscinão” Eliseu de Almeida. ....	56
Figura 62. Pantanal mato-grossense, a maior <i>wetland</i> natural do mundo. ....	57
Figura 63. Exemplo de <i>wetland</i> artificial construída no Quênia (UNEP, 2001). ....	57
Figura 64. Esquema de funcionamento de uma <i>wetland</i> . ....	58
Figura 65. Canal gramado. ....	59
Figura 66. Esquema de uma “piscininha” com ligação ao sistema de drenagem urbana. ....	59
Figura 67. Projeto de expansão do parque linear do Barigui, em Curitiba, PR. ....	62
Figura 68. Localização do parque linear. ....	89
Figura 69. Localização do conjunto habitacional. ....	89
Figura 70. Cenário BMPs: Topologia adotada para a Bacia do Bananal. ....	100
Figura 71. TR = 10 anos: Hidrogramas de montante no reservatório do Bananal. ....	101
Figura 72. TR = 10 anos: Hidrogramas de jusante no reservatório do Bananal. ....	101
Figura 73. TR = 10 anos: Limnigramas no reservatório do Bananal. ....	102
Figura 74. TR = 10 anos: Volumes armazenados no reservatório do Bananal. ....	102
Figura 75. TR = 5 anos: Hidrogramas de montante no reservatório do Bananal. ....	103
Figura 76. TR = 5 anos: Hidrogramas de jusante no reservatório do Bananal. ....	103
Figura 77. TR = 5 anos: Limnigramas no reservatório do Bananal. ....	104
Figura 78. TR = 5 anos: Volumes armazenados no reservatório do Bananal. ....	104

Figura 79. TR = 2 anos: Hidrogramas de montante no reservatório do Bananal. ....	105
Figura 80. TR = 2 anos: Hidrogramas de jusante no reservatório do Bananal. ....	105
Figura 81. TR = 2 anos: Limnigramas no reservatório do Bananal. ....	106
Figura 82. TR = 2 anos: Volumes armazenados no reservatório do Bananal. ....	106
Figura 83. Comparação entre as máximas cotas do nível d'água atingidas nos diferentes cenários. ....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados demográficos da subprefeitura da Freguesia/Brasilândia. ....	5
Tabela 2. Categorias de declividade (BARROS, 2005). ....	7
Tabela 3. Densidade viária de algumas capitais brasileiras (RIBEIRO; COELHO, 2011). ....	12
Tabela 4. Distribuição per capita dos investimentos por subprefeitura de São Paulo. ....	13
Tabela 5. Classificação de macrozonas e zonas do Plano da Subprefeitura da Freguesia/Brasilândia. .....	20
Tabela 6. Área das sub-bacias componentes da bacia do Bananal. ....	30
Tabela 7. Cálculo do CN médio para as cinco sub-bacias constituintes da Bacia do Bananal. ....	32
Tabela 8. Comprimento do talvegue principal e declividade média das cinco sub-bacias. ....	33
Tabela 9. Curva cota-volume do reservatório de detenção do Corumbé. ....	41
Tabela 10. Comparação de cotas de máximos níveis d'água dentre os cenários analisados. ....	48
Tabela 11. Gradações do subcritério "Renaturalização". ....	64
Tabela 12. Gradações do subcritério "Proteção de fauna e flora". ....	64
Tabela 13. Gradações do subcritério "Recuperação de áreas degradadas". ....	64
Tabela 14. Gradações do subcritério "Proteção de APP". ....	64
Tabela 15. Gradações do subcritério "Melhoria de qualidade das águas do córrego". ....	65
Tabela 16. Gradações do subcritério "Custo de implantação". ....	65
Tabela 17. Gradações do subcritério "Custo anual de manutenção". ....	65
Tabela 18. Gradações do subcritério "Eficiência de remoção de DBO". ....	65
Tabela 19. Gradações do subcritério "Eficiência de remoção de TSS". ....	66
Tabela 20. Gradações do subcritério "Vida útil de projeto". ....	66
Tabela 21. Gradações do subcritério "Impactos gerados por eventual falha". ....	66
Tabela 22. Gradações do subcritério "Melhoria do desempenho do reservatório de detenção do Bananal". ....	66
Tabela 23. Gradações do subcritério "Redução dos danos de inundações". ....	67
Tabela 24. Gradações do subcritério "Uso múltiplo". ....	67
Tabela 25. Gradações do subcritério "Complexidade técnica". ....	67
Tabela 26. Gradações do subcritério "Disponibilidade de parâmetros". ....	67
Tabela 27. Gradações do subcritério "Necessidade de pré-tratamento". ....	68
Tabela 28. Gradações do subcritério "Contribuição para recarga de aquífero subterrâneo". ....	68
Tabela 29. Gradações do subcritério "Melhoria dos índices de saúde pública da região". ....	68
Tabela 30. Gradações do subcritério "Melhoria dos índices de qualidade de vida da região". ....	68
Tabela 31. Gradações do subcritério "Geração de empregos". ....	69
Tabela 32. Gradações do subcritério "Melhoria da infraestrutura urbana". ....	69
Tabela 33. Gradações do subcritério "Contenção da mancha de expansão urbana". ....	69
Tabela 34. Gradações do subcritério "Dificuldade de implantação". ....	69
Tabela 35. Gradações do subcritério "Visibilidade política". ....	70
Tabela 36. Gradações do subcritério "Complexidade jurídica". ....	70

Tabela 37. Gradações do subcritério “Impacto paisagístico”.....	70
Tabela 38. Exemplo de comparação de subcritérios.....	71
Tabela 39. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Ambiental”).....	71
Tabela 40 - Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Econômico/Financeiro”).....	72
Tabela 41. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Técnico”).....	72
Tabela 42. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Social”).....	73
Tabela 43. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Político”).....	73
Tabela 44. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Estético”).....	74
Tabela 45. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Ambiental”).....	74
Tabela 46. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Econômico/Financeiro”).....	74
Tabela 47. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Técnico”).....	75
Tabela 48. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Social”).....	75
Tabela 49. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Político”).....	75
Tabela 50. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Estético”).....	76
Tabela 51 - Valoração das BMPs.....	77
Tabela 52. Avaliação das BMPs por critério.....	78
Tabela 53. Pesos atribuídos aos critérios pelo grupo G1 (gestores públicos).....	79
Tabela 54. Pesos atribuídos aos critérios pelo grupo G2 (corpo técnico).....	79
Tabela 55. Pesos atribuídos aos critérios pelo grupo G3 (comunidade local).....	80
Tabela 56. Classificação das BMPs segundo grupo G1 (gestores públicos).....	80
Tabela 57. Classificação segundo grupo G2 (corpo técnico).....	81
Tabela 58. Classificação segundo grupo G3 (comunidade local).....	81
Tabela 59. BMPs melhor classificadas segundo cada grupo decisor.....	82
Tabela 60. Posição média nas listas G1, G2 e G3.....	83
Tabela 61. Dimensionamento das trincheiras de infiltração.....	85
Tabela 62. Comprimentos totais de vias urbanas em cada sub-bacia.....	87
Tabela 63. Dimensionamento dos canais gramados.....	88
Tabela 64. Estimativa de custos de implantação e manutenção de trincheiras de infiltração.....	92
Tabela 65. Estimativa de custos de implantação e manutenção de canais gramados.....	93
Tabela 66. Estimativa de custos para as BMPs a serem implantadas na bacia do Bananal.....	96
Tabela 67. Dados orçamentários gerais da Prefeitura Municipal de São Paulo.....	97
Tabela 68. Macroagrupamento da receita da PMSP em 2011.....	97
Tabela 69. Orçamento anual atualizado (Dez/2011) da subprefeitura Freguesia/Brasilândia.....	98
Tabela 70. Valores de CN considerando a área ocupada pelas BMPs.....	99

## LISTA DE SÍMBOLOS

$t_c$	.....	Tempo de concentração
$L$	.....	Comprimento de talvegue
$S$	.....	Área de drenagem
$TR$	.....	Período de retorno
$Q$	.....	Vazão
$C_{vert}$	.....	Coefficiente de descarga de vertedor
$B$	.....	Largura do vertedor
$H_0$	.....	Cota do vertedor
$H$	.....	Cota do nível d'água
$V$	.....	Volume d'água armazenado
$d_{máx}$	.....	Profundidade máxima da trincheira de infiltração
$f$	.....	Taxa de infiltração
$T_s$	.....	Tempo de drenagem
$n_{brita}$	.....	Porosidade da brita
$C$	.....	Coefficiente de uso e ocupação do solo da bacia (Método Racional)
$I$	.....	Intensidade de precipitação
$V_w$	.....	Volume precipitado
$A_t$	.....	Área (em planta) de trincheira de infiltração
$T_{ench}$	.....	Tempo de enchimento da trincheira de infiltração
$h$	.....	Altura da lâmina d'água em relação ao fundo de um canal
$b$	.....	Largura de um canal
$A$	.....	Área de seção molhada de um canal
$P_m$	.....	Perímetro molhado da seção de um canal
$R_h$	.....	Raio hidráulico
$n$	.....	Coefficiente de rugosidade de Manning
$j$	.....	Declividade
$A_c$	.....	Área (em planta) de canal gramado
$A_{res}$	.....	Parcela de área com ocupação residencial (urbanizada) em uma bacia hidrográfica
$L_v$	.....	Extensão viária
$s$	.....	Número de sarjetas por via
$f_v$	.....	Frequência de varrição de ruas
$V_m$	.....	Velocidade média de varrição de ruas
$F_1$	.....	Fator de correção de heterogeneidade da distribuição de serviço (limpeza urbana)
$F_2$	.....	Fator de correção de flexibilidade do órgão de limpeza urbana

## 1 INTRODUÇÃO

Em cidades altamente urbanizadas e superpovoadas são detectados grandes problemas ambientais e sociais. A falta de recursos financeiros e de planejamento urbano contribui para o agravamento de diversas questões cujos exemplos (longe de esgotarem toda a problemática) são: desigualdade social, poluição, violência e deficiência da infraestrutura urbana.

Sendo a maior cidade do país, São Paulo se encontra em uma situação caótica. Durante anos temas como o saneamento básico, em particular a coleta de esgoto doméstico e a drenagem urbana, não foram devidamente debatidos e resolvidos.

Apesar de a rede coletora apresentar cobertura de 90,67% da capital paulista, em 2011 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011), a abrangência espacial desse serviço é bastante desigual entre os bairros. A título de exemplo, a cobertura da rede de esgotos é de apenas 63% em Cidade Ademar, conforme levantamento do Observatório Cidadão da Rede Nossa São Paulo baseado em dados do Censo 2000 do IBGE e da própria SABESP (REDE NOSSA SÃO PAULO, 2011). Isso faz com que a descarga ocorra em rios e córregos próximos das residências não atendidas, o que contribui significativamente para a poluição dos cursos d'água justamente em regiões de perfil socioeconômico menos favorecido. Além disso, apenas 81,14% do volume de esgoto coletado é tratado adequadamente (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2011). Portanto, mesmo que coletado, boa parte desse efluente (quase 100.000 m<sup>3</sup>/ano) ainda é descartado nos cursos d'água. Além disso, apesar de se ter um sistema de esgotos sanitários concebido como separador absoluto, existe uma quantidade muito grande de ligações irregulares de esgotos nos sistemas de drenagem de águas pluviais.

Com esta conjuntura delineada, é preciso repensar a forma com que vem sendo feita a gestão dos recursos hídricos, em especial nos grandes aglomerados urbanos como São Paulo. Historicamente há-se tido a preocupação de resolver “a questão do lixo” ou “a questão das enchentes” do fim para o início do problema, ou seja, do efeito para a causa – e nunca se chega à causa.

No exercício desse outro enfoque, de olhar mais sistemicamente os problemas e atuar sobre o que se entende como origem dos mesmos, buscou-se neste trabalho investigar diversas “medidas ótimas de gerenciamento” (ou, do inglês, BMPs: *best management practices*), de forma a caracterizá-las e analisá-las sob os aspectos técnico, ambiental, social, político e econômico/financeiro com o objetivo de chegar numa proposta de projeto de engenharia aplicável a uma região da cidade de São Paulo.

Para a escolha de região foram decisivos fatores como disponibilidade de dados e a apresentação de problemas típicos da periferia paulistana como ocupação desordenada do solo, inundações, conversão de área de mata nativa em área urbanizada e péssima infraestrutura urbana e de serviços públicos. Assim, foi escolhida na região da Brasilândia a bacia do Bananal, sub-bacia do Cabuçu de baixo.

Com o intuito de ponderar as diversas opções de BMPs frente à complexidade da região, foi feita uma análise de decisão multicritério (ADMC), pois com ela consegue-se incorporar valores subjetivos inerentes às demandas e anseios dos diversos atores, agentes e grupos decisores envolvidos. Este método, comparado às metodologias tradicionais de avaliação, aceita e modela em certa medida a subjetividade sempre presente nos processos decisórios, além de expor os diversos interesses de cada grupo de atores envolvidos no processo tanto de decisão, como de implantação a manutenção das medidas.

Após eleitas as melhores BMPs, coube uma análise crítica das fronteiras dessa metodologia, bem como a elaboração e simulação das intervenções. Compôs-se assim uma proposta com olhar mais sistêmico e os custos a ela associados, porém, sem perder de vista as limitações de recursos inerentes a um trabalho de formatura (prazo curto para coleta de dados mais precisos, tempo escasso impedindo maior dedicação no desenvolvimento do projeto e ausência de recursos físicos necessários para maior aprofundamento).

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

### 2.1 Localização

A área analisada consiste das imediações e corpo d'água (sub-bacia) que servem de área de remanso ao reservatório de retenção do Bananal, localizado na bacia hidrográfica homônima que, por sua vez, é uma sub-bacia do Cabuçu de Baixo, na zona norte do município de São Paulo, adjacente à Serra da Cantareira (Figura 1).

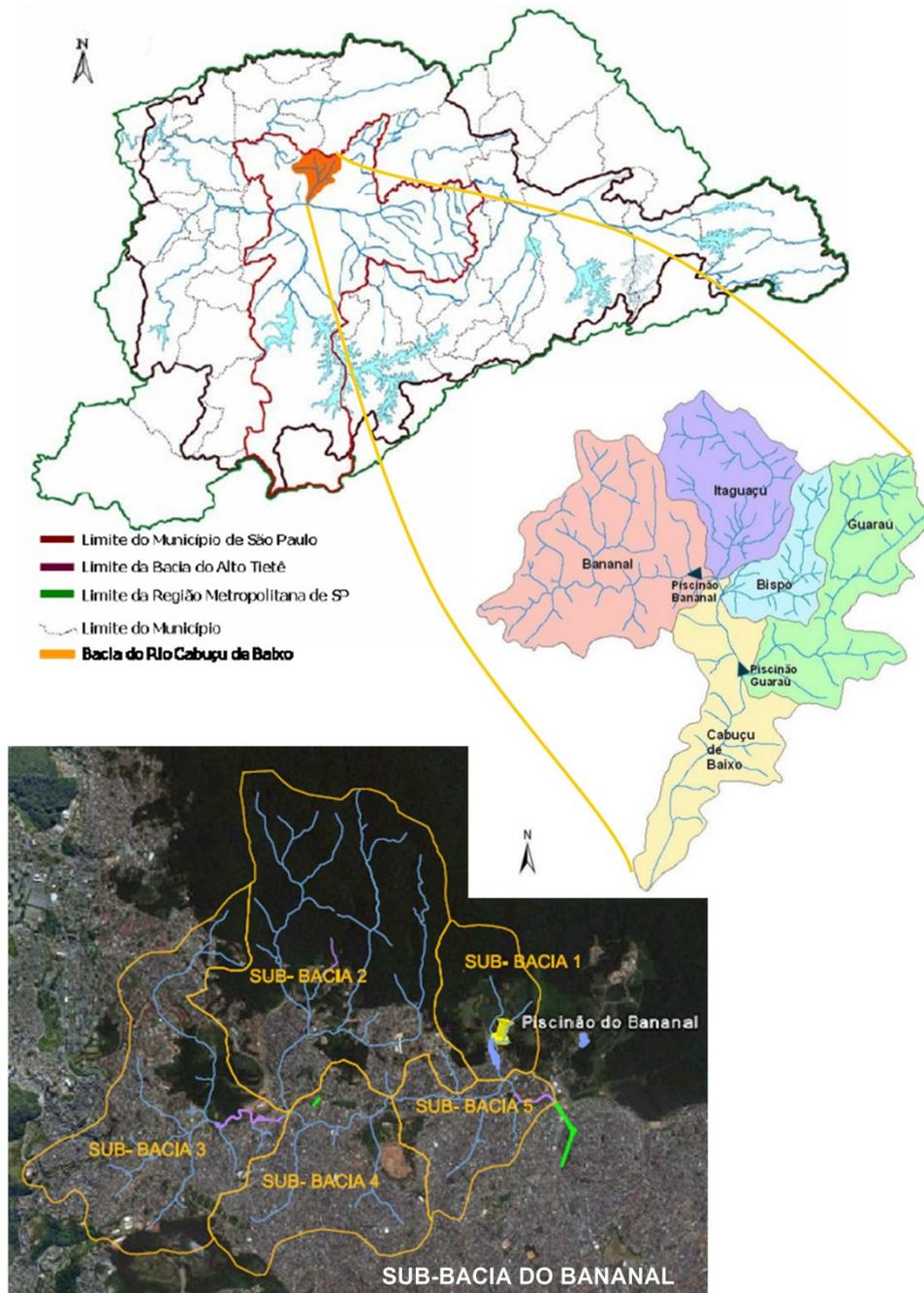
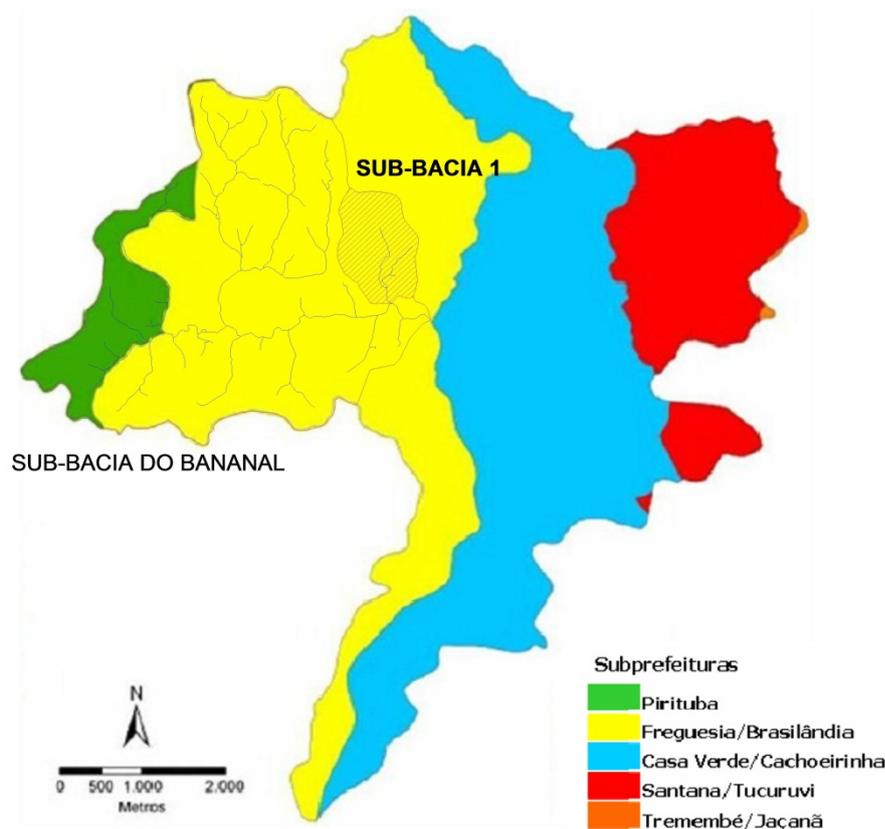


Figura 1. Localização da área de estudo (BARROS, 2005).

A área de drenagem estudada possui uma área de 1,12 km<sup>2</sup> e inclui parte do Parque Estadual da Cantareira que, em sua totalidade, abrange 7.916 hectares nos municípios de São Paulo, Mairiporã, Caieiras e Guarulhos. Considerado como a maior floresta urbana do mundo, o Parque da Cantareira é uma Unidade de Conservação Estadual cuja preservação é fundamental para a manutenção da biodiversidade existente e também da qualidade da água, já que se trata de um importante manancial da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Administrativamente, a região pertence integralmente à subprefeitura da Freguesia/Brasilândia (Figura 2).



**Figura 2. Divisões administrativas da Bacia do rio Cabuçu de Baixo (BARROS, 2005).**

Esta subprefeitura é dividida em dois distritos: Freguesia e Brasilândia. A região tratada por esse projeto está inserida totalmente no distrito da Brasilândia.

Para fins de modelagem hidráulica, a Bacia do Bananal foi subdividida em cinco zonas, sendo que a correspondente à sub-bacia 1 é a que contém o reservatório de retenção do Bananal, vide a Figura 3.

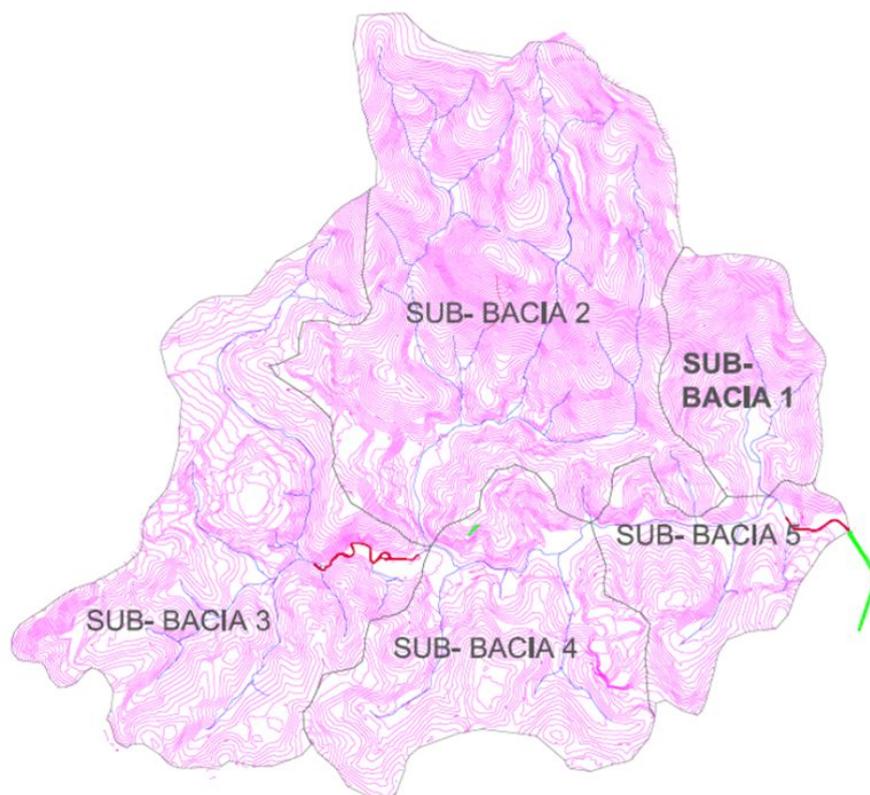


Figura 3. Subdivisão da bacia hidrográfica do córrego Bananal.

## 2.2 Dados gerais

### 2.2.1 População

Segundo dados do censo do IBGE (2000), a população residente na região do córrego Bananal era de 138.000 habitantes, resultando em uma densidade de 230 habitantes por hectare (apenas na região urbanizada da bacia, principalmente à margem direita), valor este considerado alto.

Dados extraídos do próprio site da subprefeitura mostram a evolução demográfica destes distritos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Dados demográficos da subprefeitura da Freguesia/Brasilândia.

Distrito	Área (km <sup>2</sup> )	População (1996)	População (2000)	População (2008)	Densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> )
Freguesia	11,09	148.722	145.018	140.505	12.667,70
Brasilândia	21,15	226.162	246.906	276.238	13.063,46

De acordo com os dados acima está ocorrendo um esvaziamento da região da Freguesia, região esta que possui maior infraestrutura urbana e praticamente

nenhum vestígio de vegetação natural. O contrário está ocorrendo na Brasilândia, onde existe uma grande área destinada à preservação ambiental. Podemos afirmar, portanto, que é imperativo que uma intervenção seja feita no sentido de conter esta expansão e revitalizar áreas que já foram degradadas.

### 2.2.2 Climatologia e pluviometria

A área de estudo tem clima caracterizado como de inverno menos seco, precipitação média anual da ordem de 1.600 mm, temperatura média absoluta de 19,3 °C, circulação de vento predominante do quadrante SE de velocidade média moderada (2,8 m/s).

### 2.2.3 Topografia, geologia e geomorfologia

A sub-bacia 1 está inserida no Planalto Paulistano, parte do Planalto Atlântico, em áreas de morros e montanhas (Figura 4) e apresentando alguns setores de encostas íngremes e planícies aluvionares.



Figura 4. Mapa de tipologia geomorfológica (BARROS, 2005).

Nessa mesma sub-bacia observa-se (Figura 5) predomínio de rochas graníticas, aparecimento de rochas metacarbonáticas com menor frequência e eventuais micaxistos, quartzitos e depósitos de sedimentos aluvionares.

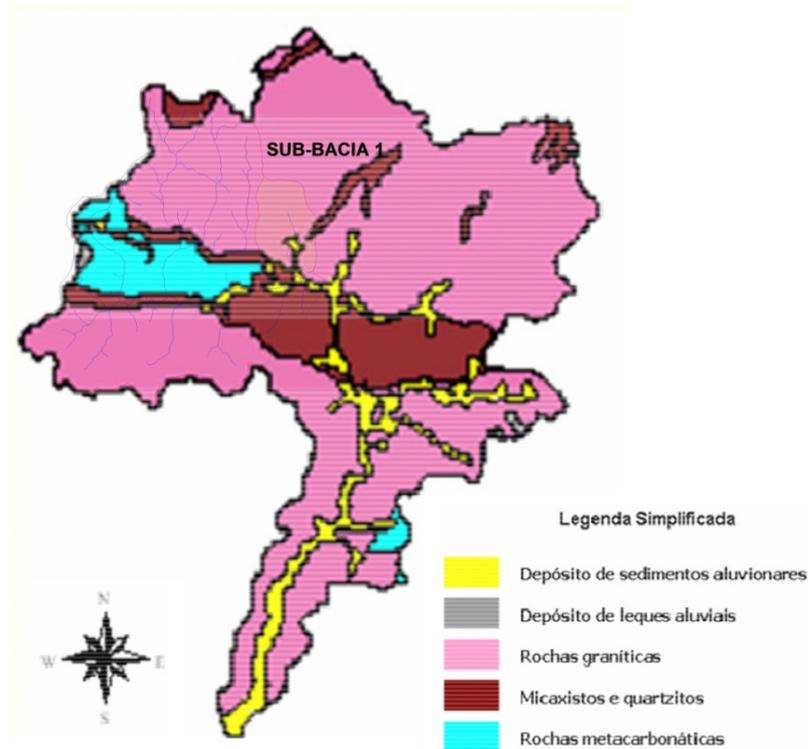


Figura 5. Mapa de tipologia geológica (BARROS, 2005).

As declividades foram divididas nas seguintes categorias, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Categorias de declividade (BARROS, 2005).

Categoria	Declividade (%)
Muito fraca	< 6
Fraca	6 – 12
Média	12 – 20
Forte	20 – 30
Muito forte	> 30

Como é possível observar na Figura 6 a sub-bacia do reservatório de retenção do Bananal tem predominância de declividades fortes a muito fortes, ou seja, acima de 20%, o que corrobora para maior contribuição no aporte de sedimentos para o corpo d'água.

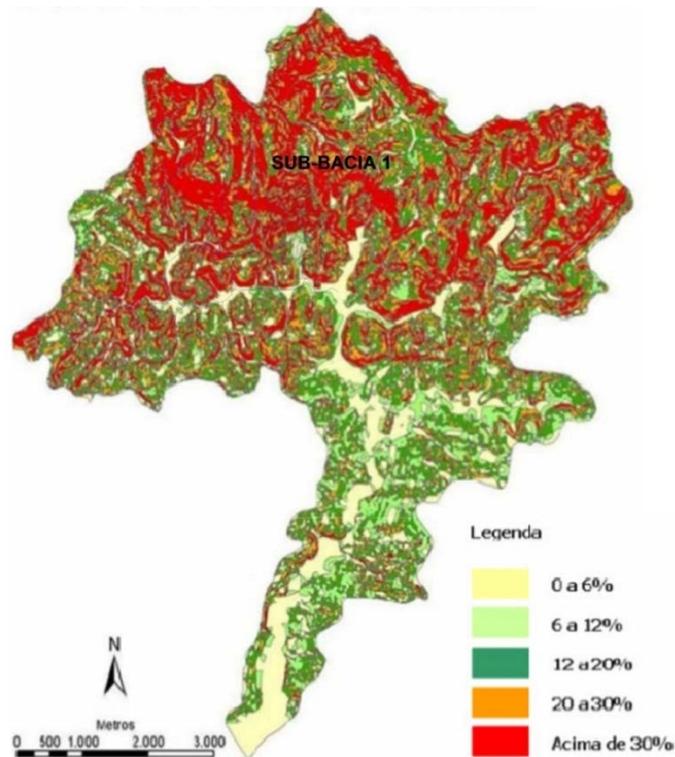


Figura 6. Mapa de declividade do terreno (BARROS, 2005).

#### 2.2.4 Vegetação

O maciço vegetal de maior destaque e considerado como a matriz gênica da formação da paisagem da área de estudo é o Parque Estadual da Cantareira. Este parque representa cerca de 45% da área de estudo e apresenta vegetação florestal secundária, pois ele reconstituiu-se a partir do século XIX mediante decreto de tombamento que visava coibir as atividades agropecuárias que vinham se desenvolvendo e garantir o abastecimento de água na cidade de São Paulo.

Além da sua relevância como manancial de água, o parque apresenta grande valor ecológico, comprovado pela ocorrência de espécies mamíferas do topo da cadeia alimentar e outras ameaçadas de extinção.

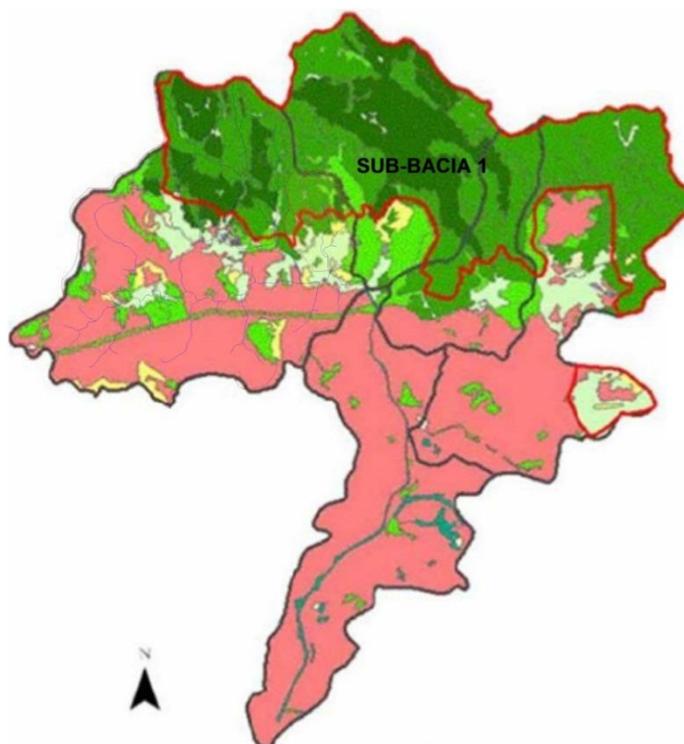


Figura 7. Mapa de cobertura vegetal (BARROS, 2005).

### 2.2.5 Saneamento básico

As figuras a seguir mostram que a região do Cabuçu de Baixo é bem atendida no que diz respeito à cobertura de redes de abastecimento de água e coletora de esgotos, assim como possui grande atendimento de coleta de lixo da prefeitura. No entanto a região estudada, no entorno do reservatório do Bananal, é localmente desprovida desses serviços. Um dos motivos aventados para explicar a inexistência desses serviços essenciais é o fato da ocupação ali estabelecida ser majoritariamente ilegal.

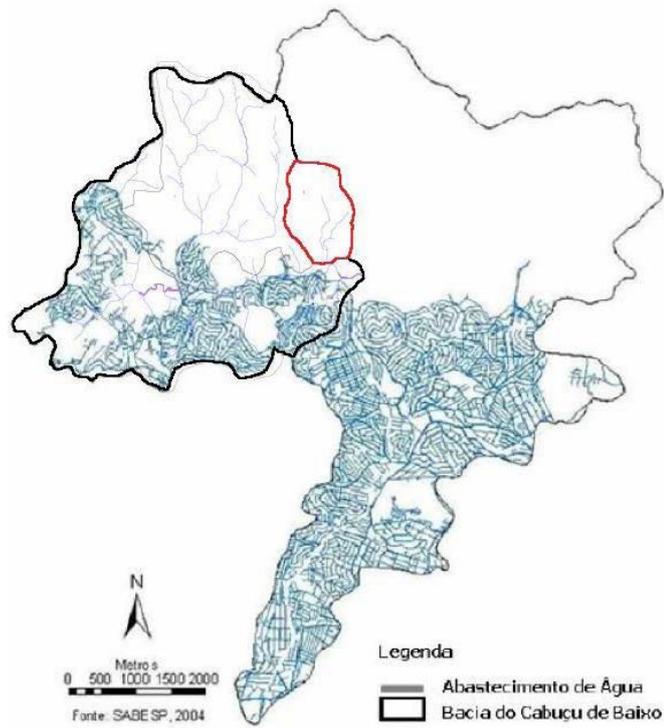


Figura 8. Sistema de abastecimento de água na região do Cabuçu de Baixo (BARROS, 2005).

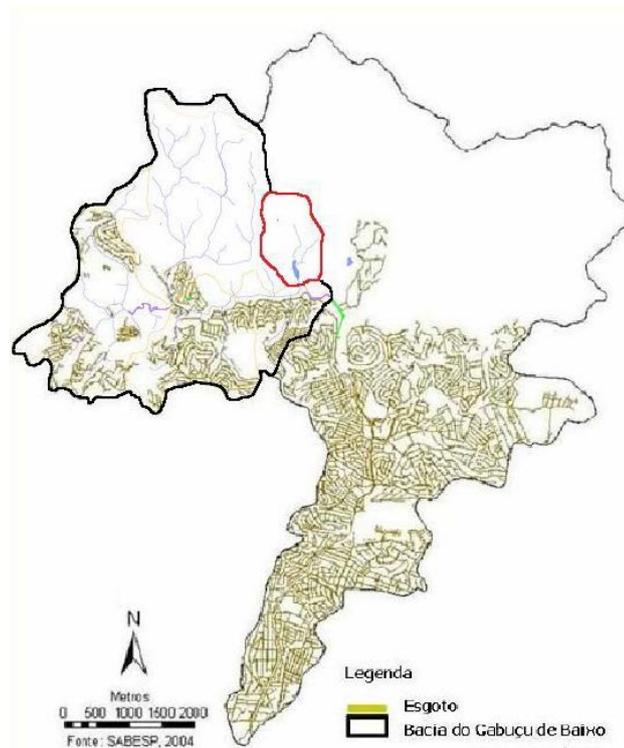


Figura 9. Sistema de coleta de esgoto sanitário na região do Cabuçu de Baixo (BARROS, 2005).

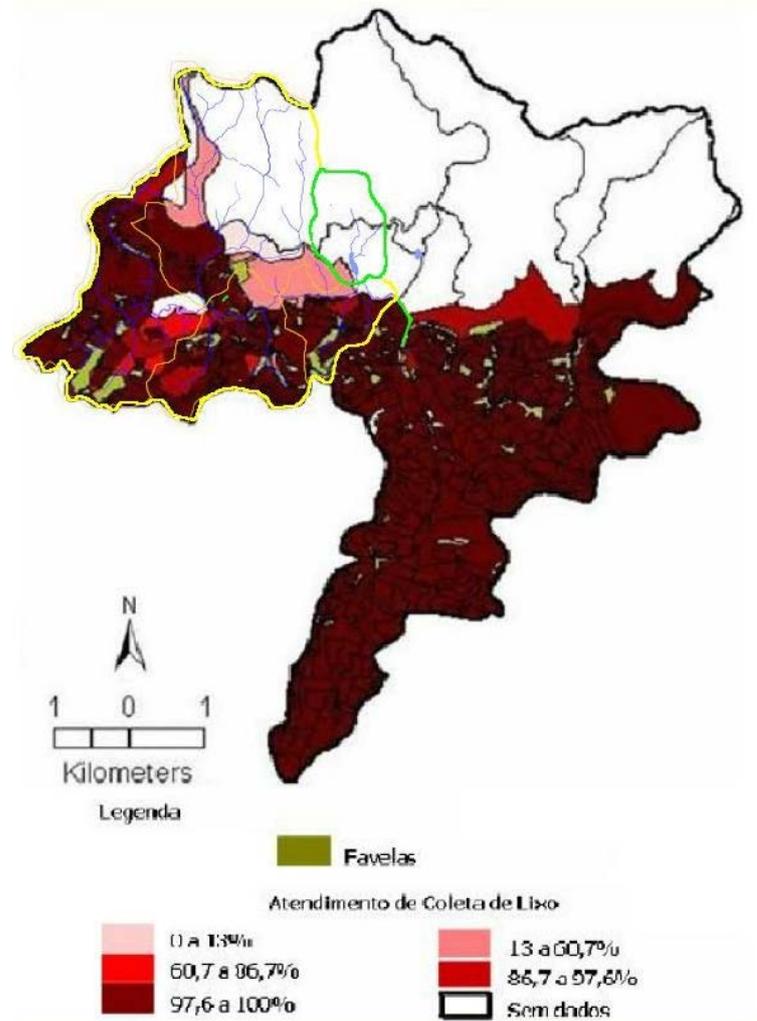


Figura 10. Atendimento de coleta de lixo no Cabuçu de Baixo (BARROS, 2005).

### 2.2.6 Densidade viária

A densidade viária é a medida do número de habitantes por setor censitário dividido pelo comprimento total das vias circunscritas a esse setor. Essa medida indica o grau de acesso da população à infraestrutura urbana.

Segundo Ribeiro e Coelho (2011) esse índice para a cidade de São Paulo equivale a 0,55 hab/m de via urbana, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3. Densidade viária de algumas capitais brasileiras (RIBEIRO; COELHO, 2011).**

<b>Capitais</b>	<b>Hab/ Vias Totais</b>	<b>Hab/ Vias Urbanas</b>	<b>Ociosidade <i>per capita</i>*</b>
Distrito Federal	0,31	0,36	0,47
São Paulo	0,52	0,55	0,12
Rio de Janeiro	0,81	0,86	0,07
Florianópolis	0,13	0,15	0,60

(\*) Metros lineares *per capita* de infraestrutura viária que não servem diretamente a nenhuma atividade.

### **2.2.7 Aplicação de recursos pelo poder público**

A subprefeitura Freguesia/Brasilândia figura entre as 8 de menor renda per capita em todo o município de São Paulo. A Tabela 4 (SÃO PAULO, 2011) mostra que, da previsão de investimentos de R\$ 77/hab, tornam-se realidade somente R\$ 58/hab (uma redução de quase 25%).

Tabela 4. Distribuição per capita dos investimentos por subprefeitura de São Paulo.

Subprefeitura	R\$ orçado atualizado (por habitante)	R\$ empenhado (por habitante)	R\$ liquidado (por habitante)
Aricanduva/Formosa/Carrão	119	100	92
Butantã	96	78	71
Campo Limpo	80	67	57
Capela do Socorro	75	57	52
Casa Verde/Cachoeirinha	79	67	59
Cidade Ademar	73	64	53
Cidade Tiradentes	100	86	80
Ermelino Matarazzo	125	105	96
Freguesia/Brasilândia	77	64	58
Guaianases	127	103	92
Ipiranga	70	67	61
Itaim Paulista	100	73	60
Itaquera	86	65	56
Jabaquara	119	108	98
Jaçanã/Tremembé	90	79	68
Lapa	103	98	90
M'Boi Mirim	97	69	55
Moóca	102	95	85
Parelheiros	150	132	118
Penha	92	76	69
Perus	176	154	116
Pinheiros	127	120	110
Pirituba/Jaraguá	77	68	57
Santana/Tucuruvi	88	80	75
Santo Amaro	139	120	111
São Mateus	116	92	75
São Miguel	95	84	77
Sé	127	123	116
Vila Maria/Vila Guilherme	105	92	87
Vila Mariana	92	85	79
Vila Prudente/Sapopemba	74	60	51
<b>MÉDIA</b>	<b>103</b>	<b>88</b>	<b>78</b>

### 2.3 Visitas de campo

Foi realizada uma visita de campo para averiguação do local no dia 14 de maio de 2011, acompanhada de registro fotográfico.

A Figura 11 mostra uma vista a partir da Avenida General Penha Brasil.



**Figura 11. Reservatório de detenção do Bananal visto a partir da Av. Gal. Penha Brasil.**

No centro, fluindo da esquerda para a direita da imagem, encontra-se o córrego Bananal. Ao fundo é possível ver formação pertencente à Serra da Cantareira, nascente do córrego afluente do Bananal no ponto à direita da fotografia. Percebe-se a grande quantidade de material retido na área destinada ao reservatório de detenção, além de uma população de urubus às margens dos corpos d'água.

A má qualidade da manutenção já se evidencia no acesso ao reservatório de detenção, que possui manilhas de concreto de modo a controlar a entrada de veículos grandes (Figura 12).



**Figura 12. Acesso ao reservatório de detenção do Bananal, em más condições.**

Adentrando o reservatório percebe-se a verdadeira dimensão dos problemas técnicos e também sociais que assolam tanto a estrutura hidráulica quanto o seu entorno. Na Figura 13 fica visível a quantidade de sedimentos e poluição que o reservatório de detenção recebe. Ao fundo, no centro, há uma estrutura de gradeamento – que também serve de passarela improvisada (sem quaisquer guarda-corpos ou largura adequada ao fluxo de pessoas) aos pedestres que desejam atravessar o reservatório.

Recentemente os equipamentos destinados à dragagem do reservatório de detenção foram retirados do local, sendo visíveis ainda as marcas de suas esteiras no meio aos detritos, conforme a Figura 14.



**Figura 13. Reservatório de detenção do Bananal visto de montante para jusante. Destaque da estrutura de gradeamento que serve como passarela improvisada a pedestres.**



**Figura 14. Marcas de equipamentos de dragagem no reservatório de detenção do Bananal.**

No entorno do reservatório de detenção, à margem esquerda do córrego Bananal, residem pessoas extremamente carentes, que subsistem de atividade rural. Dentro do reservatório foi uma criação de galinhas, além de cavalos utilizando a vegetação

que nele cresce como pasto, conforme a Figura 15. Nessa mesma imagem, à direita, pode-se ver a confluência de dois corpos d'água sem nome identificado, que nascem na Serra da Cantareira e cruzam o reservatório de detenção, desaguando no córrego Bananal, pouco antes do vertedouro.



**Figura 15. Cavalos utilizando o reservatório de detenção do Bananal como pasto. À direita, confluência de córregos sem identificação que atravessam o reservatório de detenção.**

Em relação às estruturas hidráulicas presentes no reservatório de detenção, além do gradeamento exibido na Figura 13, foram avistados e documentados uma seção de controle na entrada do reservatório (Figura 16) e um dispositivo de controle, conjugado a galerias de descarga, em sua saída (Figura 17).



**Figura 16. Seção de controle do córrego Bananal, na entrada do reservatório de detenção.**

A seção de controle na entrada do reservatório força o escoamento a passar por um regime torrencial, de modo a não permitir que as variações de nível perturbem a região de montante.



**Figura 17. Dispositivo de controle do reservatório de detenção do Bananal. (A) Vista de jusante para montante; (B) Vista de montante para jusante.**

### **3 ESTUDOS PRÉVIOS**

#### **3.1 Plano da subprefeitura da Freguesia/Brasilândia**

O atual plano da subprefeitura (SEMPA, 2004) estabelece diretrizes de desenvolvimento urbano da região e visa à reversão das tendências de ocupação urbana e o direcionamento do crescimento populacional, contenção da expansão na Serra da Cantareira e revitalização econômica.

Dentre os objetivos citam-se a política de habitação social, zoneamento, integração do sistema viário, criação de polos geradores de emprego, incentivo às atividades voltadas ao turismo e lazer, projetos de inclusão social e melhoramentos da infraestrutura urbana.

Dos objetivos relacionados à preservação ambiental busca-se a criação de uma faixa de proteção ambiental, por meio de APA (artigo 14º da Lei N° 9.985, de 18 de julho de 2000), oferecer incentivos a atividades agrícolas, programas de gestão das encostas da Serra da Cantareira e fiscalização, monitoramento das ocupações irregulares e implantação de um programa de saneamento básico junto com a Sabesp.

De acordo com o artigo 8º serão implementados parques lineares ao longo dos Córregos Itaguaçu, Bananal, Canivete e Corumbé, bem como uma área tampão que servirá de proteção à reserva Florestal da Serra da Cantareira, uma APA, um parque público no distrito da Brasilândia e recuperações em áreas que antes eram Pedreiras.

O artigo 10º versa sobre a implantação de uma área de esporte, recreação e lazer de 34.297 m<sup>2</sup> no reservatório de contenção de águas pluviais do Bananal, além de revisão do sistema de drenagem (correção da cota da soleira do reservatório para contenção do refluxo das águas a montante).

O Mapa 01 do Plano Estratégico, referente aos artigos 8º e 10º, mencionados anteriormente, encontra-se no Anexo A-1.

Outro aspecto interessante do Plano Estratégico é a criação de um zoneamento urbano e ambiental da área, que pode ser mais bem visualizado nos Mapas 04 (Anexo A-4) e 05 (Anexo A-5).

As macrozonas estão divididas conforme a Tabela 5.

**Tabela 5. Classificação de macrozonas e zonas do Plano da Subprefeitura da Freguesia/Brasilândia.**

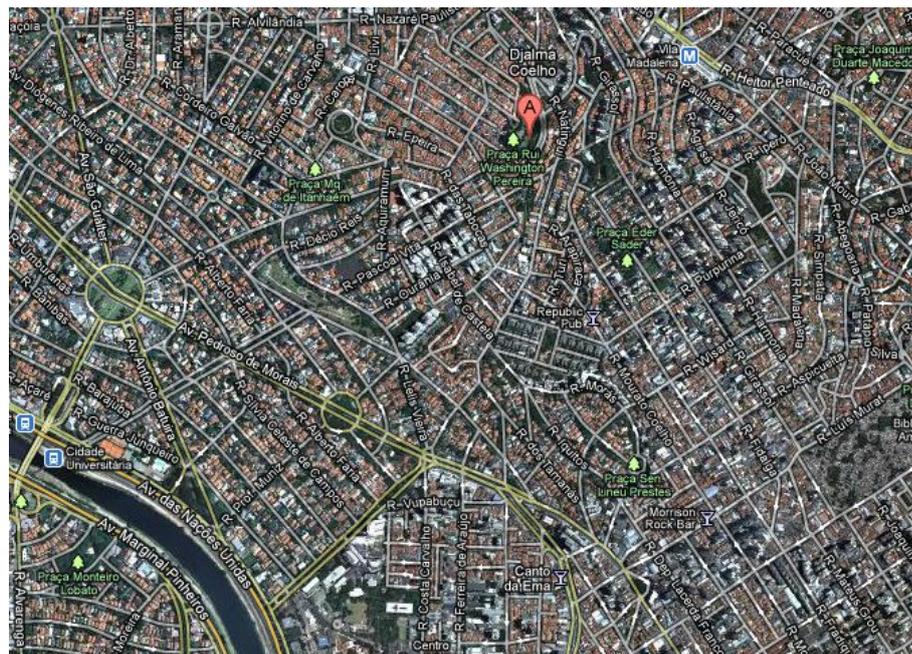
<b>Macrozona</b>	<b>Zona</b>	<b>Grau de proteção</b>
Proteção Ambiental	ZEP – Zona Especial de Preservação	Proteção Integral
	ZEPAM – Zona Especial de Preservação Ambiental	Conservação e Recuperação
	ZMp – Zona Mista de Proteção Ambiental	Permite uso residencial de baixa densidade e não residencial de âmbito local
	ZCp – Zona de Centralidade Polar de Proteção Ambiental	
Estruturação e qualificação urbana	ZER – Zonas Exclusivamente Residenciais	
	ZM – Zonas Mistas	
	ZC – Zonas Centralidade	
	ZEPEC – Zonas Especiais de Preservação Cultural	
	ZEPAG – Zonas Especiais de Produção Agrícola e de Extração Mineral	
	ZEIS – Zonas Especiais de Interesse Social	

### **3.2 Visita à Praça das Corujas, São Paulo – SP**

No dia 14 de abril de 2011 os alunos do grupo realizaram uma visita ao Parque das Corujas, localizado na Avenida das Corujas entre os números 143 e 165, nas praças Dolores Ibarruri e Rui Washington Pereira (Figura 18 e Figura 19). O propósito da visita foi compreender como estruturas verdes podem ser integradas a meios urbanos de forma positiva, gerando melhorias em múltiplas esferas.



**Figura 18. Placa de identificação da Praça Dolores Ibaruri (Praça das Corujas).**



**Figura 19. Imagem de satélite da região do Parque das Corujas (indicador vermelho).**

O parque possui passagens e corredores de água pluvial que desaguam no Córrego das Corujas, às margens do qual se encontra o parque. Os caminhos de água pluvial possuem escadas com pequenos diques e rochas, todos projetados para reter a água por algum tempo, reduzindo a velocidade do escoamento e aumentando o tempo de concentração do escoamento (Figura 20).



**Figura 20. Escada de dissipação com fundo empedrado e diques.**

Apesar dos corredores de água estarem presentes por todo o parque, os mesmos são integrados com os caminhos de circulação humana - há pequenas passarelas de madeira que possibilitam a travessia, vide Figura 21.



**Figura 21. Canal gramado (com trecho em pedras) sob travessia em madeira.**

Na área mais elevada do parque há uma zona para lazer infantil com brinquedos coletivos, tais como escorregador, roda-roda e balanço.



Figura 22. Zona de lazer infantil.

### 3.3 Plano de Bacia Urbana (Cabuçu de Baixo e Bananal)

“O projeto Plano de Bacia Urbana, financiado pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos – CTHIDRO, do Ministério de Ciência e Tecnologia do Governo Federal (MCT), coordenado e executado pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e [...] objetivou desenvolver uma nova metodologia de tratamento dos problemas relativos à água urbana, levando em consideração os impactos ambientais gerados na bacia hidrográfica pelo processo de urbanização.

“Procurou-se seguir uma nova orientação técnica para tratamento dos problemas advindos da ocupação urbana, propondo-se ações não tradicionais, que permitem a convivência harmoniosa do homem da cidade com o meio ambiente. O Plano aqui apresentado propõe medidas que permitem não só melhorar o padrão de vida das populações urbanas, mas que também recompõem, restauram e conservam o meio ambiente.

“[...] as medidas propostas não só contemplam alternativas envolvendo obras civis, mas também medidas de caráter legal, institucional e de gestão que, em muitos casos, são tão ou mais importantes para tratar os problemas das bacias hidrográficas urbanas.

“[...] todas as análises foram feitas à luz dos problemas sociais, econômicos e ambientais típicos das grandes cidades brasileiras, com destaque para as populações marginalizadas, que vivem hoje em condições sub-humanas, em áreas de risco, às margens dos córregos e em zonas de escorregamento de solo.

“O relatório final do projeto possui duas partes. A primeira parte, chamada de Parte A, trata fundamentalmente da caracterização da bacia do rio Cabuçu de Baixo, área adotada como estudo de caso. Esta pequena bacia urbana caracteriza muito bem os principais problemas sociais, econômicos e ambientais das áreas urbanas das grandes cidades brasileiras. [...]

[...] Os dados físicos, econômicos e sociais, relacionados à qualidade da água, drenagem urbana, erosão do solo e sedimentação, eliminação da cobertura vegetal, ocupação irregular do solo, incluindo a ocupação das áreas de risco para habitação, traçado inadequado da infraestrutura para vias de tráfego, etc., foram identificados, tratados e estruturados num sistema de informação geográfica (SIG). [...]

“A parte B do relatório apresenta o Plano de Bacia Urbana propriamente dito. Dada a extensão da área estudo, foi necessário adotar para análise das proposições uma das sub-bacias do Cabuçu de Baixo. Foi então escolhida para detalhamento das propostas a bacia do Córrego Bananal, a área mais crítica da região, seja em termos de problemas sociais urbanos, como problemas ambientais. [...]” (BARROS, 2005).

### **3.4 Aplicação de *Wetland* Construída na Bacia do Córrego Corumbé**

“Este trabalho consiste na coleta de dados recentes e utilização de dados existentes em pesquisas anteriores para dimensionamento hidráulico e detalhamento de uma “Wetland” construída para implantação na Bacia do córrego Corumbé, localizado na zona norte do município de São Paulo.

“Foram realizadas visitas a campo, entrevistas com moradores locais e medições de vazão. Com esses dados, foram realizados estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico para a implantação da “Wetland” construída, com objetivo de contenção de cheias e diminuição da poluição difusa. Com isso, tem-se uma proposta de implantação, ainda com detalhes a serem definidos.

“[...] a proposta de uso de uma “Wetland” construída [...] pode ser uma alternativa viável dependendo do volume de água a ser amortecido bem como dos outros benefícios que se pode contar com este tipo de construção. [...]”

“Recomenda-se que este estudo sirva de referência para estudos futuros de “Wetlands” construídas como solução alternativa para contenção de cheias.” (MASUKO; ANRAKU; BÜLL, 2010).

### 3.5 Visita ao “Piscinão Grã Bretanha”, Santo André – SP

Na manhã do dia 9 de setembro de 2011 os participantes do grupo realizaram uma visita técnica ao “Piscinão Grã Bretanha”, localizado na Rua Grã Bretanha entre os números 558 e 630, em Santo André, SP (Figura 23 e Figura 24). O reservatório foi construído pelo DAEE e atualmente é de responsabilidade do Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André (SEMASA).



Figura 23. Placa na entrada do Piscinão Grã Bretanha.

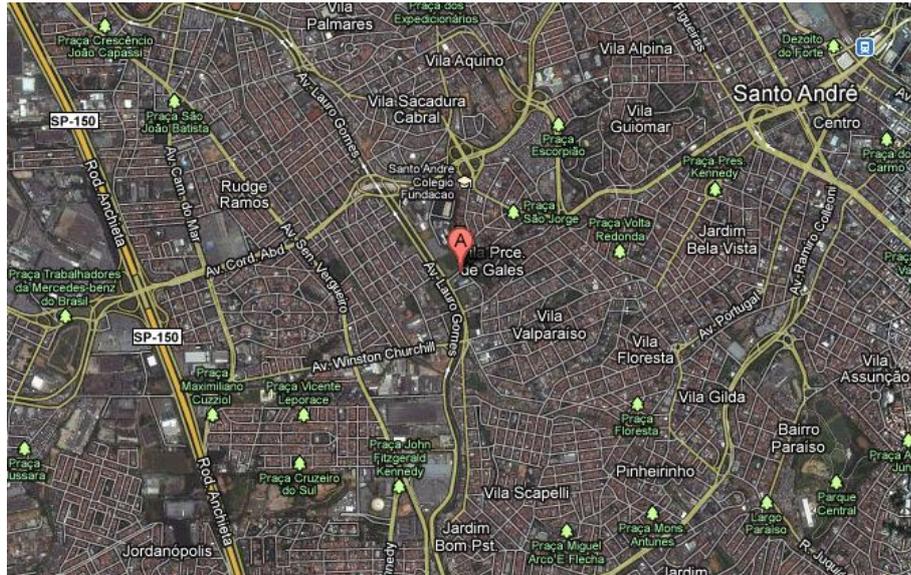


Figura 24. Foto de satélite com localização do reservatório de detenção Grã Bretanha.



Figura 25. Vistas do reservatório de detenção a partir da guarita.

O reservatório é *off-line* e sua função é amortecer os picos de chuva da seguinte forma: quando o nível de água do córrego dos Meninos (adjacente ao reservatório) ultrapassa um determinado limite, começa-se a verter água para dentro do reservatório por meio de um “ladrão” (Figura 26).



**Figura 26. Vista da avenida Grã-Bretanha e do ribeirão dos Meninos.  
No ponto indicado localizam-se as estruturas de gradeamento e tomada de água.**

Após o pico da chuva, quando o nível do rio já estiver em alturas menores, a água do piscinão é bombeada de volta para o córrego.

As intervenções de manutenção do reservatório constituem das seguintes atividades:

- Remoção de terra e material sedimentado no fundo do reservatório;
- Poda da grama e de vegetação rasteira nas bermas/paredes internas do reservatório;
- Aplicação de inseticidas/praguicidas para eliminar possíveis pragas como mosquitos, ratos, entre outros;
- Remoção de resíduos sólidos da grade do canal coletor de água;
- Içamento das bombas para manutenção.



**Figura 27. Estruturas do reservatório de detenção.**  
**(A) Poços de sucção para esvaziamento do reservatório. (B) Estrutura de gradeamento.**

Viu-se, no entanto, que apesar de ser um bom exemplo, existem muitos problemas. Aquele que se destaca entre eles é o fato da casa de máquinas – que contém todos os controles das bombas – inunda nas épocas de chuvas fortes por estar em um nível mais baixo que o asfalto da rua adjacente, a Avenida Marginal (Lauro Gomes). Essa inundação da casa de máquinas causa parada dos equipamentos, forçando o segurança local a abandonar seu posto de vigília – diametralmente oposto à casa das máquinas – e caminhar por fora do reservatório (dado que não há conexão dos dois locais por dentro do terreno) até a casa de máquinas e rearmar os disjuntores.

Houve épocas em que a área do reservatório era aberta para a população, no entanto a SEMASA descontinuou as atividades sob a alegação de que se geravam muitos problemas tanto para a própria SEMASA quanto para os visitantes e moradores da região. No entanto, em diagnóstico com população local, percebeu-se que há mais interesse da SEMASA em redução de custos de manutenção com o reservatório do que problemas efetivamente com os moradores, custos estes tanto maiores quanto mais diversos forem os usos e melhor o aproveitamento da área pela população.

Duas quadras na área do piscinão (uma de futebol na região principal de reservação e uma poliesportiva em uma cota mais alta) estão desativadas pelo motivo supracitado.

Foi mencionada em jornal de circulação local a instalação de um filtro biológico em meados de 2007 (REPÓRTER DIÁRIO, 2007), porém a iniciativa não alcançou a fase de orçamento e foi abandonada.

## 4 DIAGNÓSTICO DA BACIA DO BANANAL

### 4.1 Modelagem da Bacia

Para que o estudo da área de implementação da solução seja mais preciso, primeiramente realizou-se a subdivisão da bacia do Bananal em sub-bacias. Essa delimitação foi feita através da identificação do escoamento da água sobre o relevo utilizando como base as curvas de nível contidas no levantamento topográfico do SIG. Cada uma das sub-bacias (conforme a Figura 28) foi então modelada utilizando o software ABC6, um programa de modelagem hidrológica utilizado em trabalhos anteriores realizados na bacia estudada (BARROS, 2005).

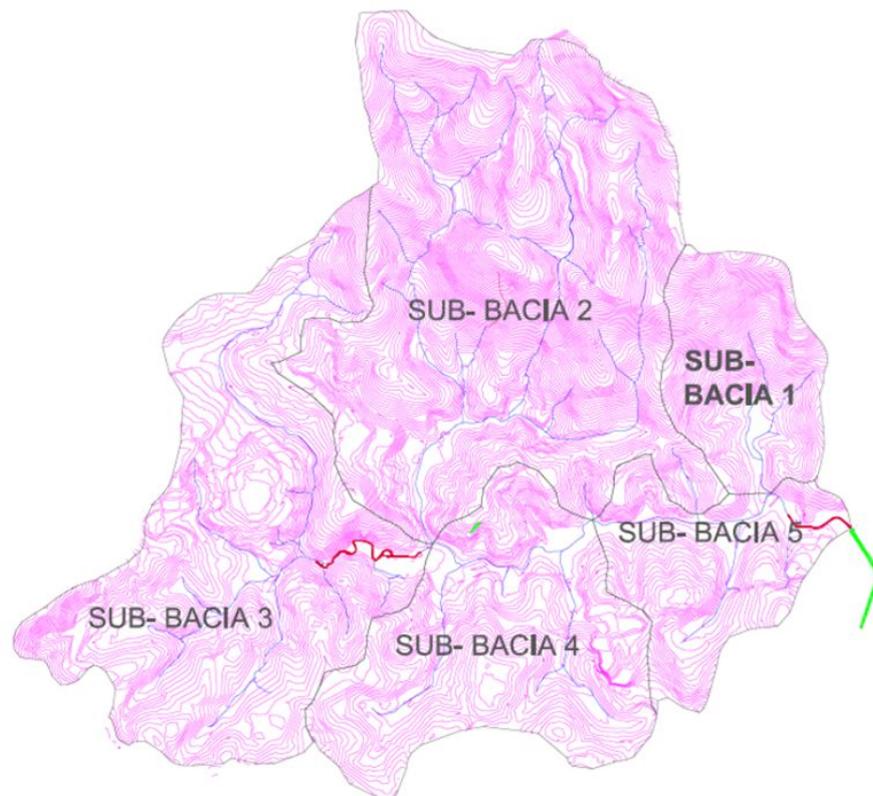


Figura 28. Subdivisão da bacia hidrográfica do córrego Bananal.

Na rotina de cálculo do programa serão necessários os seguintes dados de entrada, cujos métodos de obtenção e resultados são apresentados na sequência:

- Área de cada sub-bacia;
- Valor de CN (*Curve Number*);
- Comprimento do talvegue principal;
- Declividade média da bacia.

#### 4.1.1 Área das sub-bacias

Uma vez delimitadas as sub-bacias, foi possível obter a área de cada uma através de programa CAD. Os resultados são exibidos na Tabela 6.

**Tabela 6. Área das sub-bacias componentes da bacia do Bananal.**

Sub-bacia	Área (ha)
1	112
2	518
3	376
4	229
5	119

#### 4.1.2 Valor de CN (Curve Number)

Além da área, é preciso considerar a capacidade de retenção de cada sub-bacia. Para isso, devemos obter os valores de CN (*Curve Number*) para cada sub-bacia. O método CN foi desenvolvido pelo SCS (*Soil Conservation Service*) e é um índice empírico que busca representar o efeito combinado do tipo de solo, uso da terra, tipo de prática agrícola, grau de manejo e condição de umidade antecedente para estimar o escoamento direto e a infiltração de uma determinada precipitação. Esse número varia de 0 a 100 e, quanto maior o seu valor, maior será o volume de escoamento superficial resultante de uma chuva. Porém, por ser um valor obtido a partir de estudos em solos de clima temperado, os valores utilizados nesse projeto podem apresentar certa discrepância com as características do solo local. Tabelas com os valores de CN podem ser encontradas nos Anexos B-2 e B-3.

A Figura 29 sobrepõe as delimitações das sub-bacias com uma imagem de satélite que permite estimar o uso e ocupação de cada zona.



Figura 29. Sobreposição da delimitação das sub-bacias com imagem de satélite.

Como resultado dessa análise, foi obtida a Figura 30, de modo que fosse possível realizar interpretações a respeito dos valores de CN de cada sub-bacia.

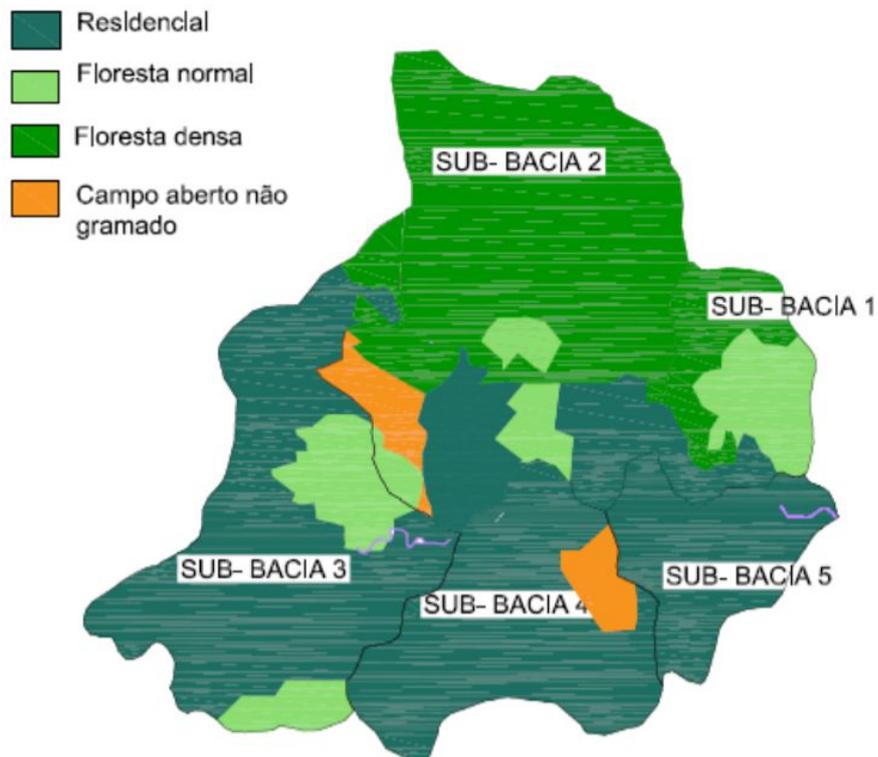


Figura 30. Uso e ocupação do solo segundo critérios do SCS para a Bacia do Bananal.

Os valores de CN e seus respectivos cálculos, efetuados por média ponderada, são mostrados na Tabela 7. Para a elaboração dessa tabela, foram feitas as seguintes considerações a respeito do tipo de solo e da utilização das superfícies:

- Solo do tipo B (Anexo B-1);
- Florestas densas de alta transpiração;
- Floresta normal;
- Área urbana residencial com impermeabilidade maior do que 65%;
- Espaços abertos de condições médias.

**Tabela 7. Cálculo do CN médio para as cinco sub-bacias constituintes da Bacia do Bananal.**

Sub-bacia	Área Total (ha)	Área agrícola				Área urbana				CN Médio
		Floresta Densa		Floresta Normal		Residencial		Espaço Aberto		
		Área (ha)	CN	Área (ha)	CN	Área (ha)	CN	Área (ha)	CN	
1	111,73	52,74	52	50,8	60	8,19	85	-	-	58
2	517,86	346,06	52	38,76	60	106,14	85	26,91	69	60
3	375,56	17,28	52	23,69	60	334,59	85	-	-	82
4	229,39	-	-	-	-	209,23	85	20,11	69	84
5	119,57	-	-	-	-	119,57	85	-	-	85

#### 4.1.3 Comprimento do talvegue principal e declividade média

O comprimento do talvegue principal foi obtido através da divisão em trechos lineares do perfil longitudinal de cada sub-bacia (Anexos C-1, C-2, C-3, C-4 e C-5).

A declividade média de cada sub-bacia foi obtida através da análise do mapa de declividades da Figura 6. Foi adotado um valor de 40% para os locais com declividade indicada como sendo superior a 30%.

Tabela 8. Comprimento do talvegue principal e declividade média das cinco sub-bacias.

Sub-bacia	Comprimento do Talvegue (m)	Declividade (m/m)
1	3.026	0,040
2	4.863	0,040
3	5.203	0,020
4	4.520	0,020
5	2.005	0,020

#### 4.1.4 Tempo de concentração e intensidade de precipitação

No modelo ABC6, os valores de área e CN de cada sub-bacia são entrados diretamente, enquanto que os dados referentes às declividades médias e aos comprimentos dos talvegues principais serão utilizados para a estimativa do tempo de concentração de cada sub-bacia. Para isso, foi empregada a equação de Kirpich II, adequada para bacias pequenas e com altas declividades (Equação 1).

Equação de Kirpich II

$$t_c = 0,28 \cdot \left( \frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Estimou-se a intensidade de precipitação pela curva IDF proposta por P. S. Wilken e revisada por Nelson Pinto, vide a Equação **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, onde:

Curva IDF (P.S. Wilken, Nelson Pinto)

$$i = \frac{57,712 \cdot TR^{0,172}}{(t_c + 22)^{1,025}} \quad (2)$$

- TR: período de retorno;
- $t_c$ : tempo de concentração.

A chuva de projeto tem 360 minutos de duração e foi adotado na análise hidrograma proveniente do método Santa Bárbara.

## 4.2 Simulação de Cenários

A partir dos estudos prévios realizados no local foram concebidos três cenários a serem simulados com o intuito de fornecer subsídios para seleção de alternativas.

O primeiro cenário leva em conta apenas a operação do Reservatório do Bananal, ou seja, simula o caso atual. Já o segundo e o terceiro cenários consideram a operação do reservatório de detenção do Corumbé – conforme proposto por Barros (2005) – em conjunto com o Reservatório do Bananal. A principal diferença entre estes dois cenários está no modo em que o reservatório do Corumbé seria operado. No segundo cenário, ele estaria *in-line*, ou seja, em série com o curso do rio. No terceiro cenário ele estaria *off-line*, isto é, em paralelo com o curso do rio.

A seguir serão apresentados os dados de entrada dos reservatórios e, na sequência, os resultados obtidos.

### 4.2.1 Cenário 0: Estado atual

A Figura 31 expressa a topologia adotada para a bacia do Bananal. É possível observar que o reservatório de detenção do Bananal amortece o pico das cheias que ocorrem não só na sub-bacia na qual está inserido, mas também nas demais sub-bacias.

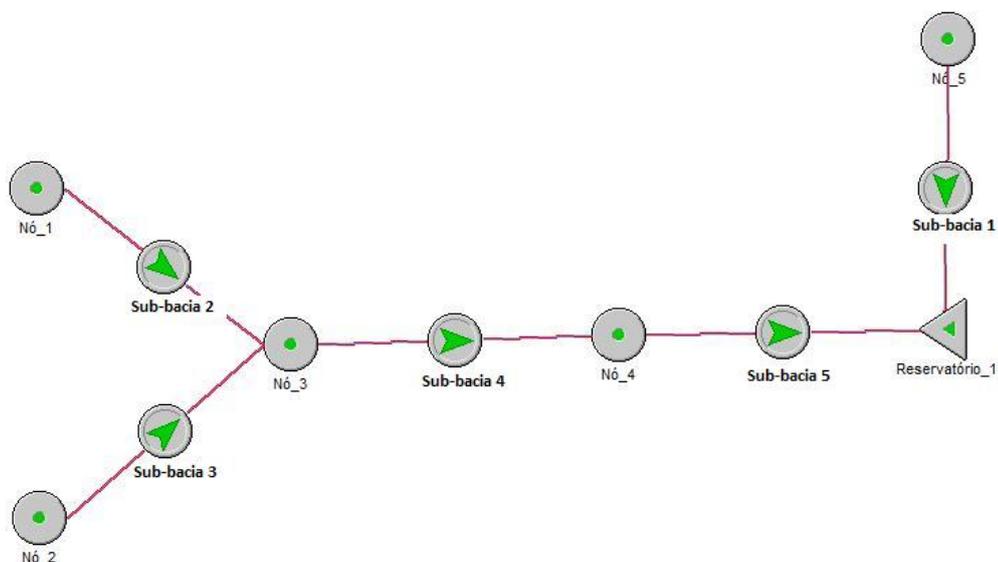
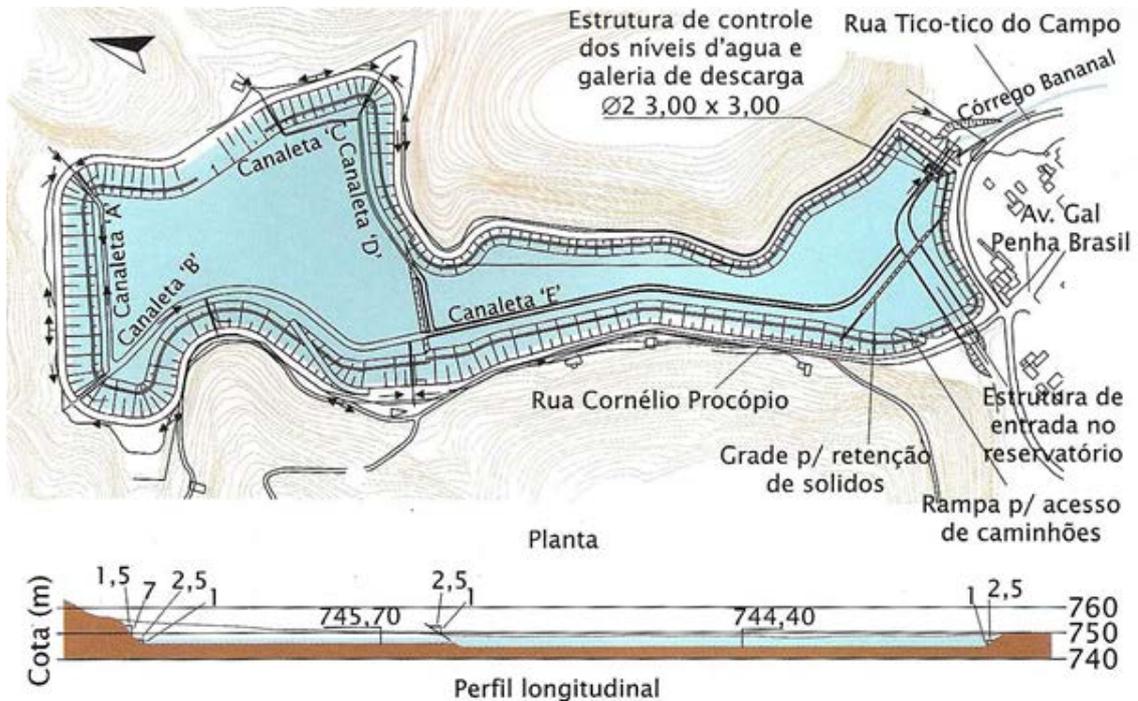


Figura 31. Cenário 0: Topologia adotada para a Bacia do Bananal.

No programa, devem ser dados como entrada as cotas de fundo e de crista da barragem, a cota inicial do nível d'água e parâmetros do reservatório tais como curva do vertedor e curva cota-volume. A cota de fundo da barragem (744 m) foi obtida a partir da Figura 32.



**Figura 32. Projeto implantado (planta e corte) do reservatório do Bananal. (CANHOLI, 2005).**

A cota inicial do nível d'água inicial foi estipulada como tendo o mesmo valor da cota de fundo (reservatório totalmente vazio). Foi adotado um valor arbitrariamente alto para a cota da crista da barragem, de modo que não houvesse risco de sobrepasso, situação que impede o processamento do programa. As cotas de nível d'água atingidas em simulação foram analisadas criticamente, com o intuito de verificar a adequação de seus valores ao que foi observado da estrutura na visita de campo.

Os dados de entrada dos parâmetros do vertedor de soleira livre do reservatório se deram por meio de curva cota-descarga. Tanto esta curva, como a curva cota-volume foram fornecidas pelo Me. Sidnei Ono.

A seguir apresentam-se os ajustes para as curvas cota-volume (Figura 33) e cota-descarga (Figura 34).

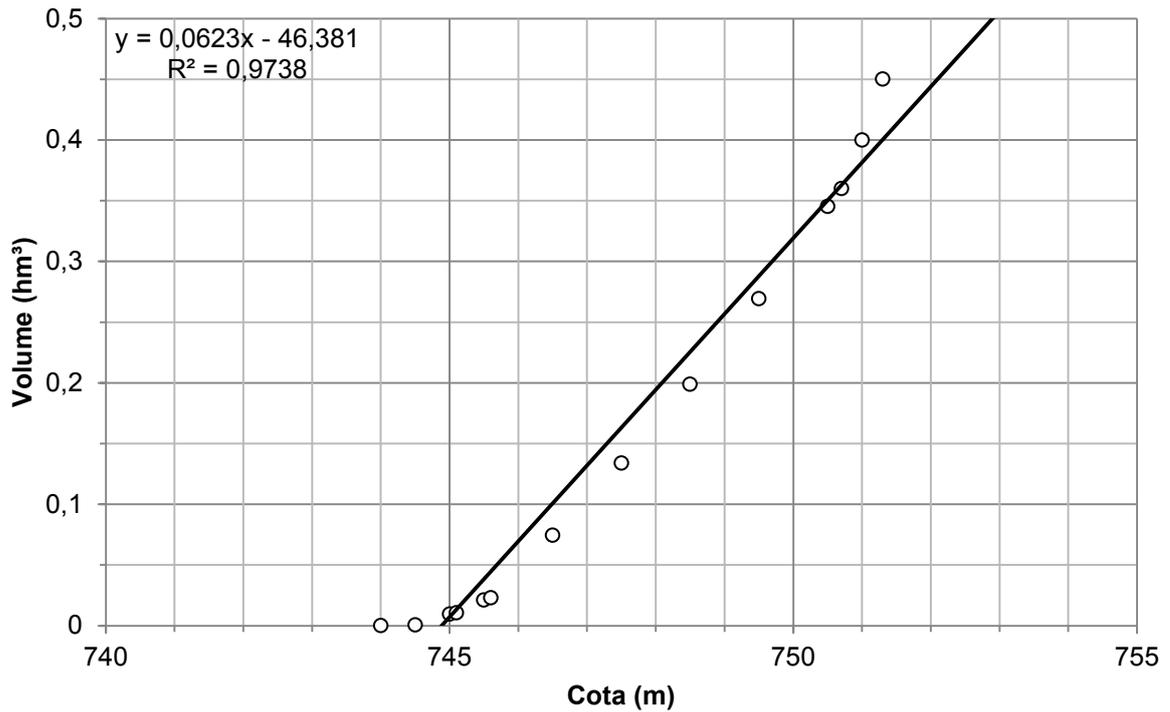


Figura 33. Curva cota-volume do reservatório de detenção do Bananal.

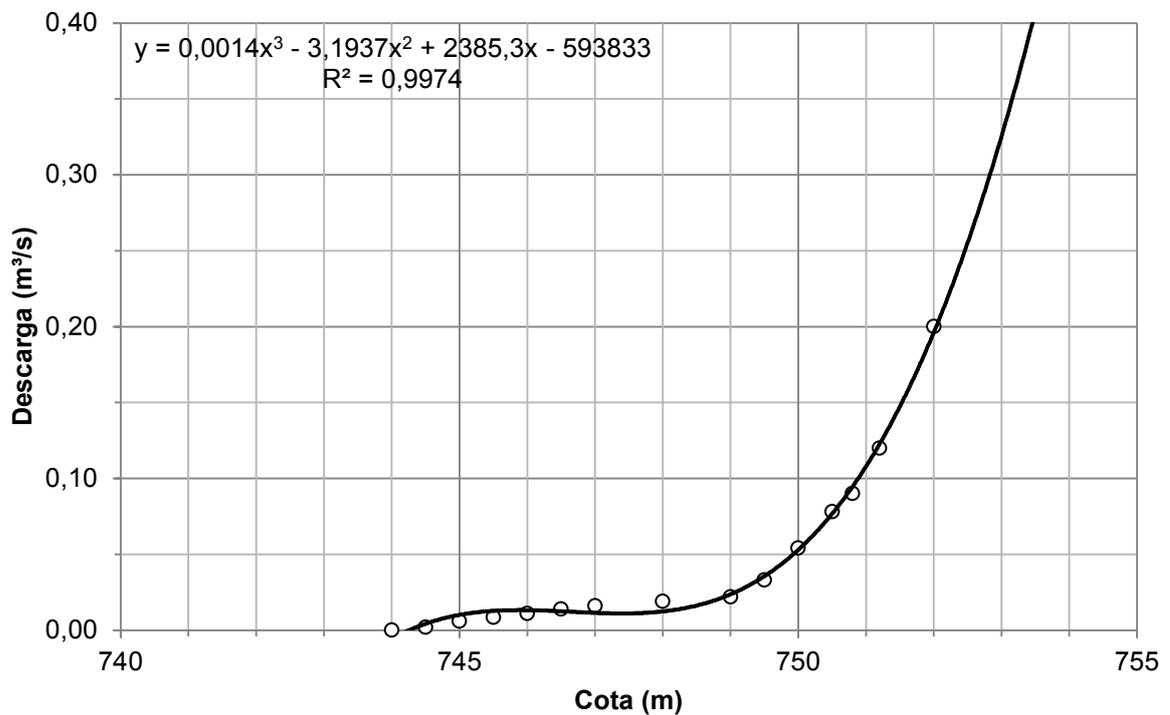
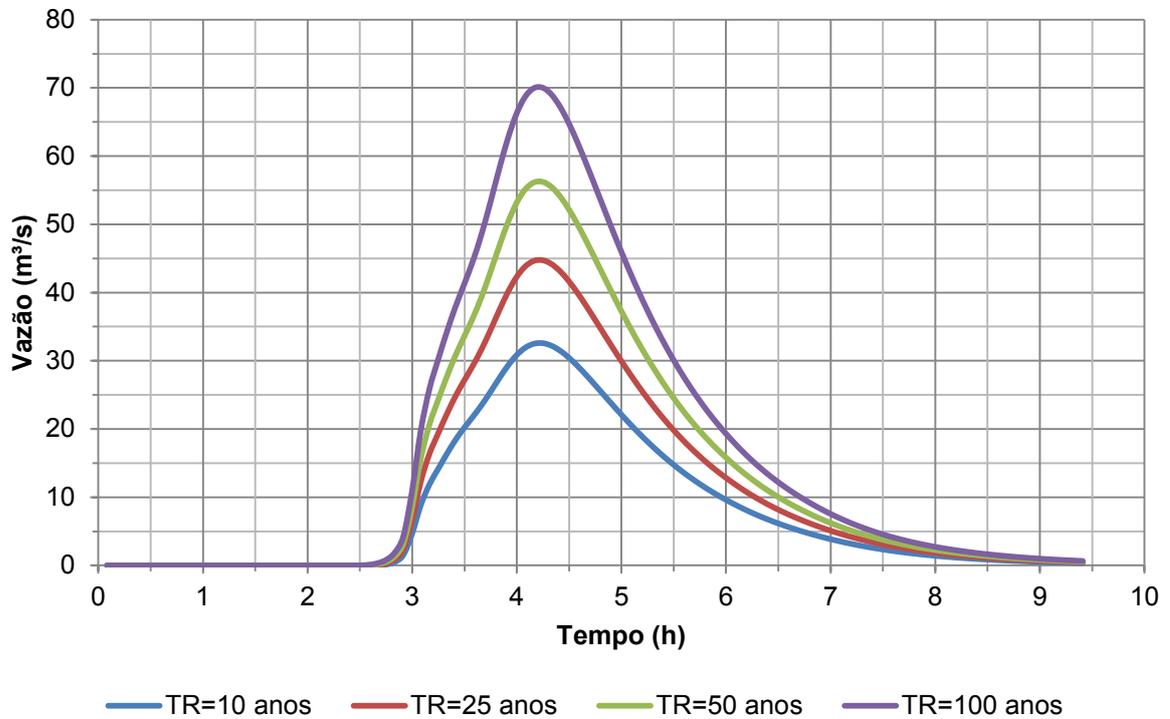


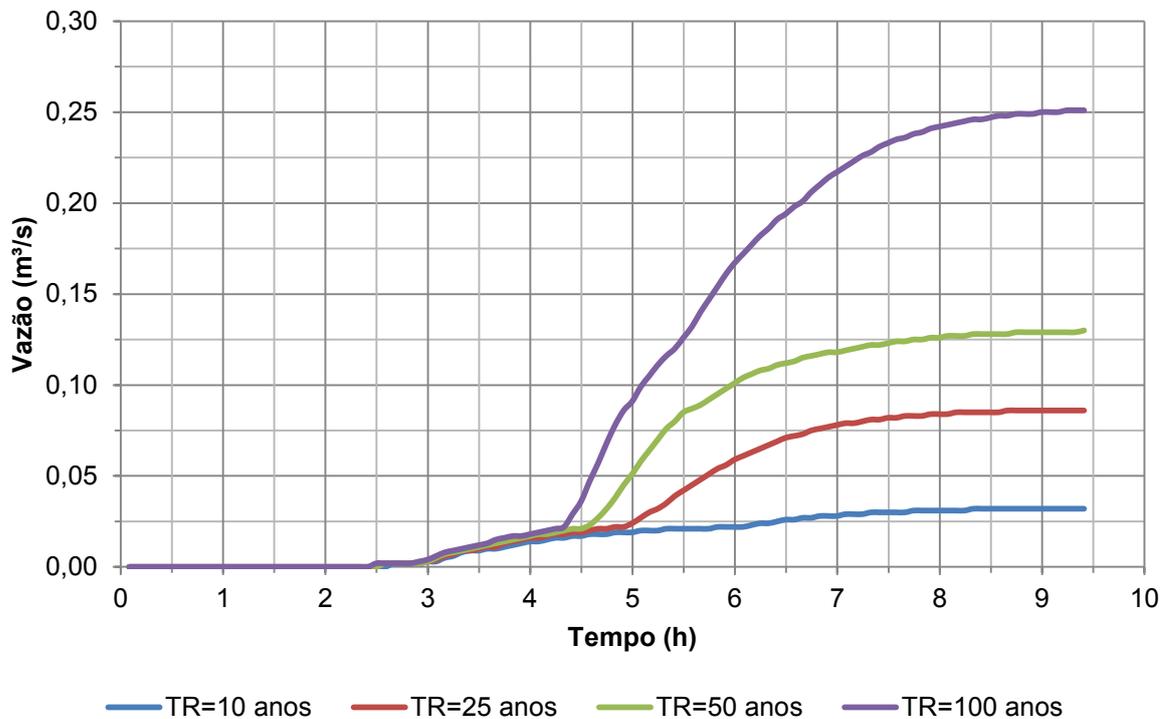
Figura 34. Curva cota-descarga do reservatório de detenção do Bananal.

Nas figuras a seguir está ilustrado o comportamento simulado da bacia do Bananal. Foram gerados hidrogramas de montante (Figura 35) e jusante (Figura 36),

limnigrama (Figura 37) e curva de volume armazenado (Figura 38) para períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos.



**Figura 35. Cenário 0: Hidrograma de montante no reservatório do Bananal.**



**Figura 36. Cenário 0: Hidrograma de jusante no reservatório do Bananal.**

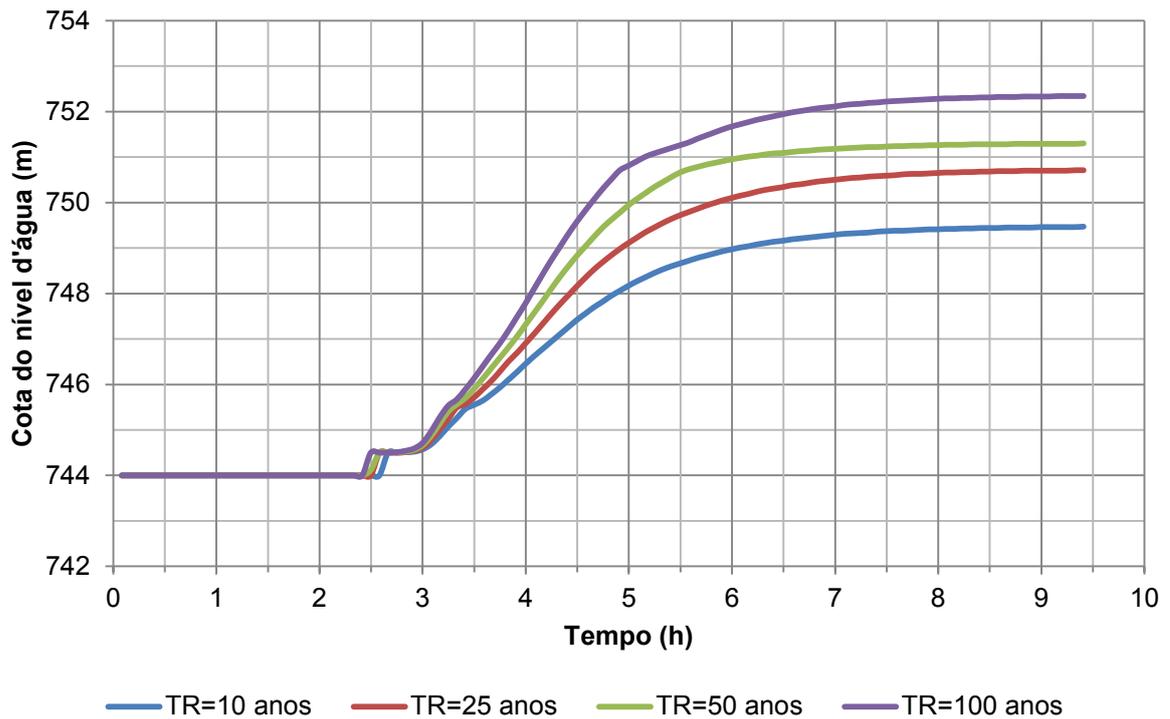


Figura 37. Cenário 0: Limnigrama no reservatório do Bananal.

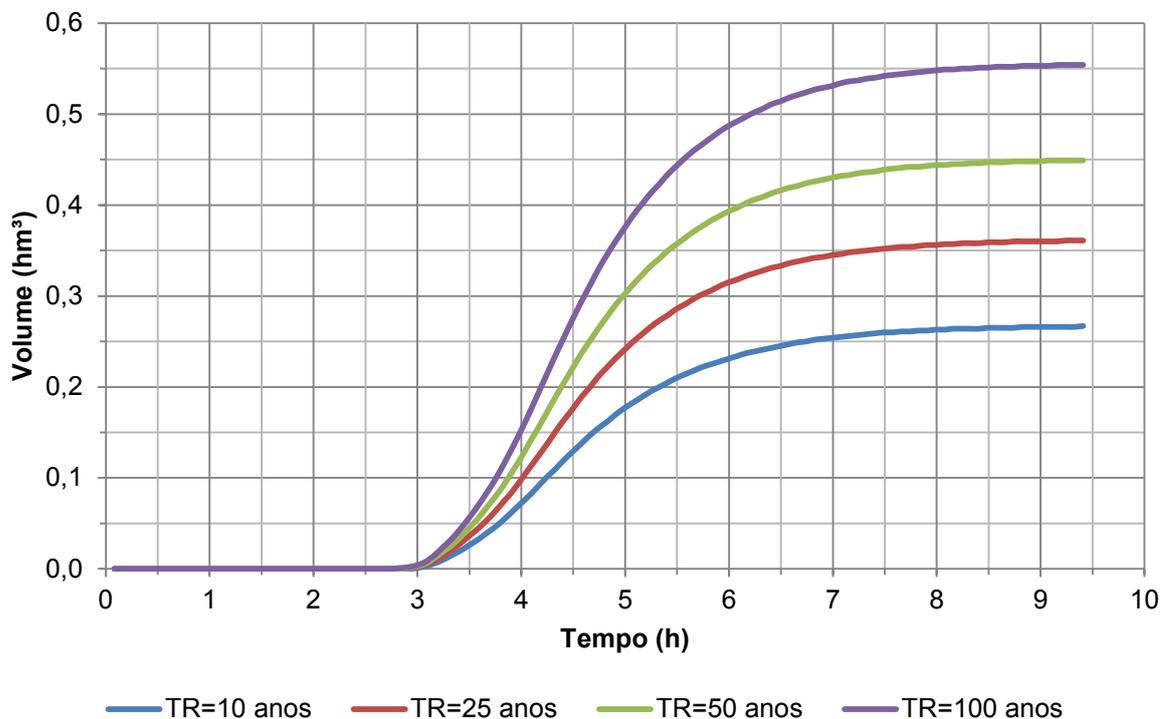
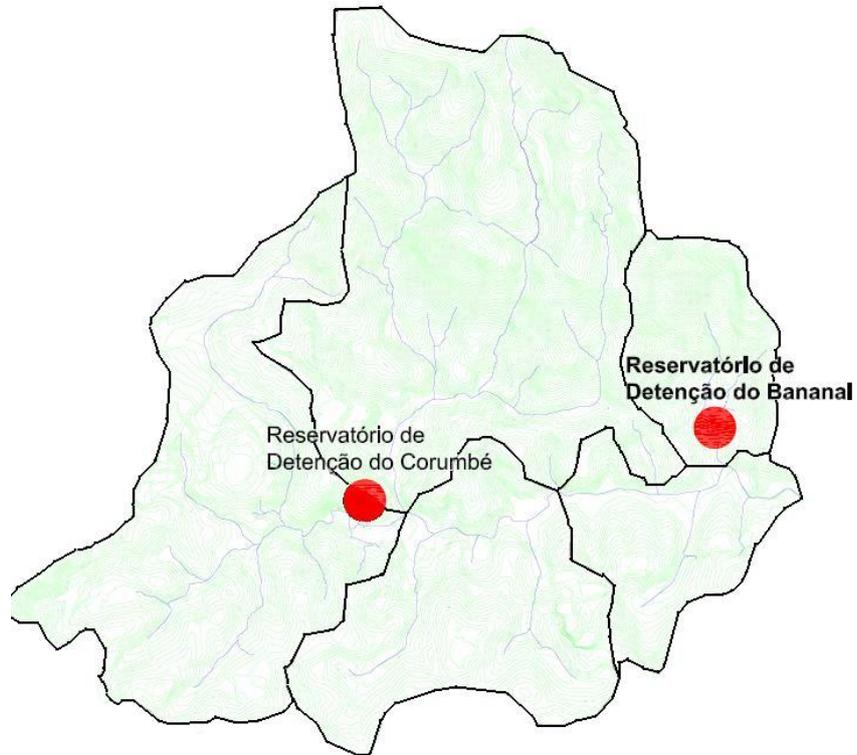


Figura 38. Cenário 0: Volume armazenado no reservatório do Bananal.

#### 4.2.2 Cenário 1: Implantação de Reservatório *In-line* no Córrego Corumbé

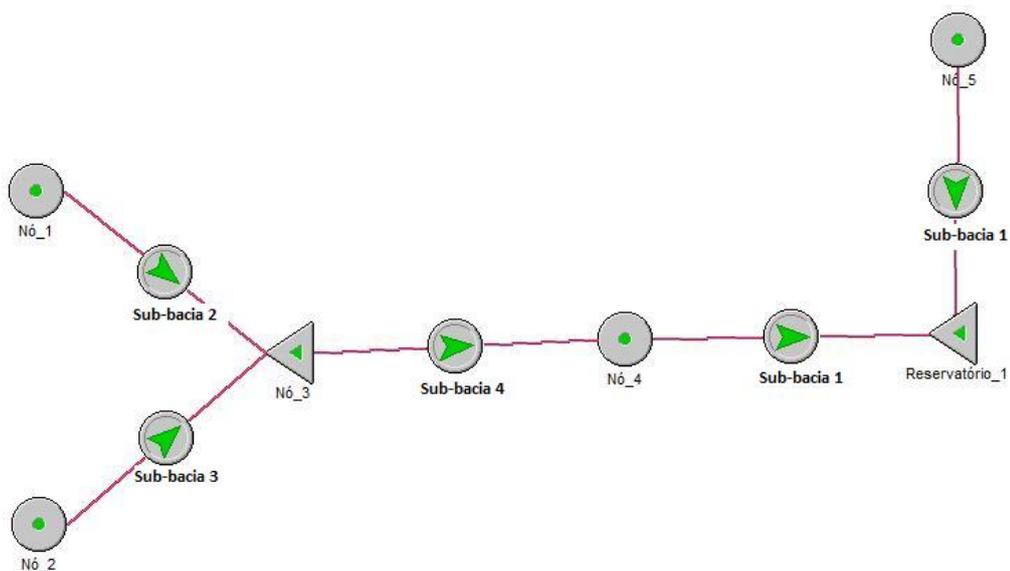
De acordo com as recomendações feitas no Plano de Bacia do Cabuçu (BARROS, 2005), um segundo reservatório, localizado à montante do reservatório do Bananal,

poderia ser construído com a finalidade de minimizar os efeitos das inundações na bacia. Ele estaria na região indicada na Figura 39.



**Figura 39. Localização do Reservatório de Detenção do Corumbé.**

Foi desenvolvida topologia no programa ABC6, como mostrado na Figura 40.



**Figura 40. Cenário 1: Topologia adotada para a Bacia do Bananal.**

Como neste cenário, o reservatório do Corumbé é considerado *in-line*, a entrada de dados é a mesma da descrita no item 4.2.1

A cota de fundo da barragem é de 760 metros (MASUKO; ANRAKU; BÜLL, 2010). A cota lâmina d'água inicial foi estipulada como tendo o mesmo valor da cota de fundo, enquanto que a cota da crista da barragem foi adotada em 780 metros. Apesar deste valor não ser necessariamente condizente com a realidade, ele deve ser suficientemente alto para a não ocorrência de extravasamento, situação na qual o programa não efetua seus cálculos.

Os dados de entrada dos parâmetros do vertedor de soleira livre do reservatório se deram por meio da Equação (3), onde:

$$Q = C_{\text{vert}} \cdot B \cdot (H - H_0)^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

- Q: vazão de descarga (m<sup>3</sup>/s);
- C<sub>vert</sub>: coeficiente de descarga (estimado em 1,7);
- B: largura do vertedor (estimado em 5 m);
- H<sub>0</sub>: cota do vertedor em (763 m);
- H: cota do nível d'água (m).

Como o reservatório de detenção do Corumbé possui volume proporcional ao reservatório do Bananal (aproximadamente 7,5 vezes menor) a curva cota-volume reservatório do Bananal pode ser utilizada para se obter a curva cota-volume do reservatório do Corumbé. Da Figura 33 vemos que a curva-cota volume do reservatório do Bananal é dada pela Equação (4), onde:

$$V = 0,0623 \cdot H - 46,381 \quad (4)$$

- V: volume armazenado (hm<sup>3</sup>);
- H: cota do nível d'água (m).

Sabendo-se desta proporcionalidade, chega-se na Tabela 9.

Tabela 9. Curva cota-volume do reservatório de detenção do Corumbé.

Cota (m)	Volume (hm <sup>3</sup> )
760	0,00025
761	0,00856
762	0,01687
763	0,02517
764	0,03348

Nas figuras que seguem está ilustrado o comportamento simulado da bacia do Bananal sob influência do amortecimento de cheias efetuado pelo reservatório do Corumbé operando *in-line*.

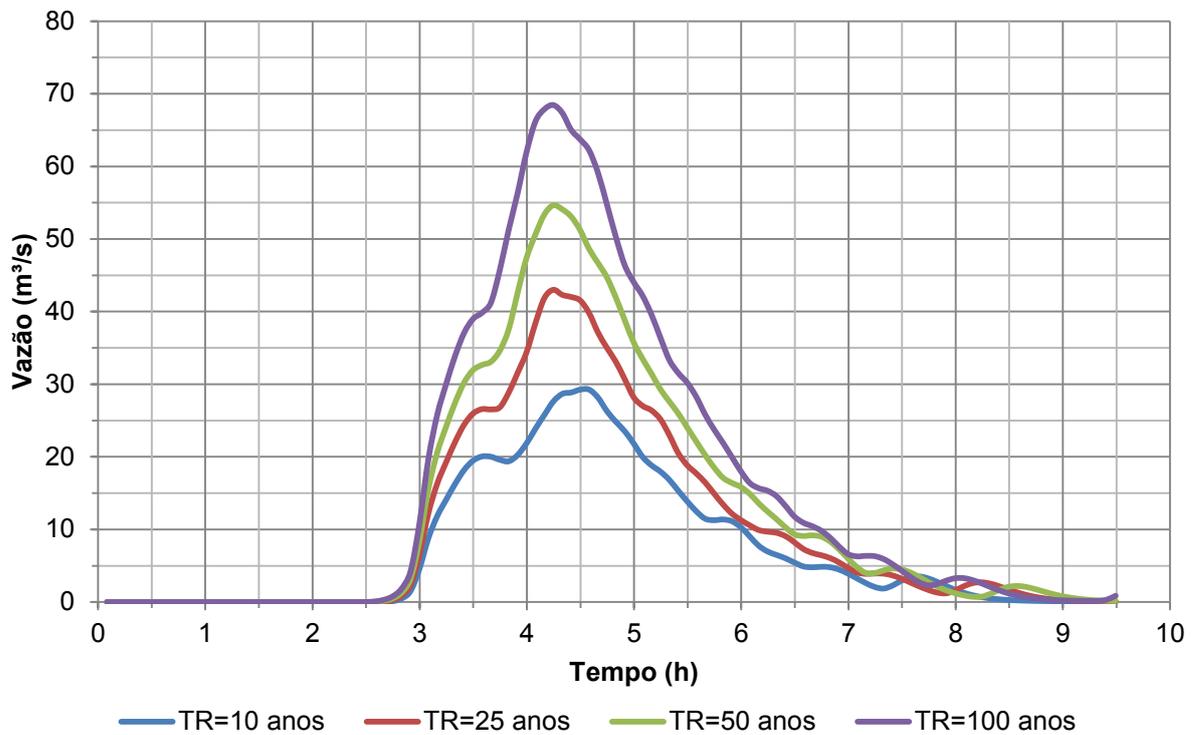


Figura 41. Cenário 1: Hidrograma de montante no reservatório do Bananal.

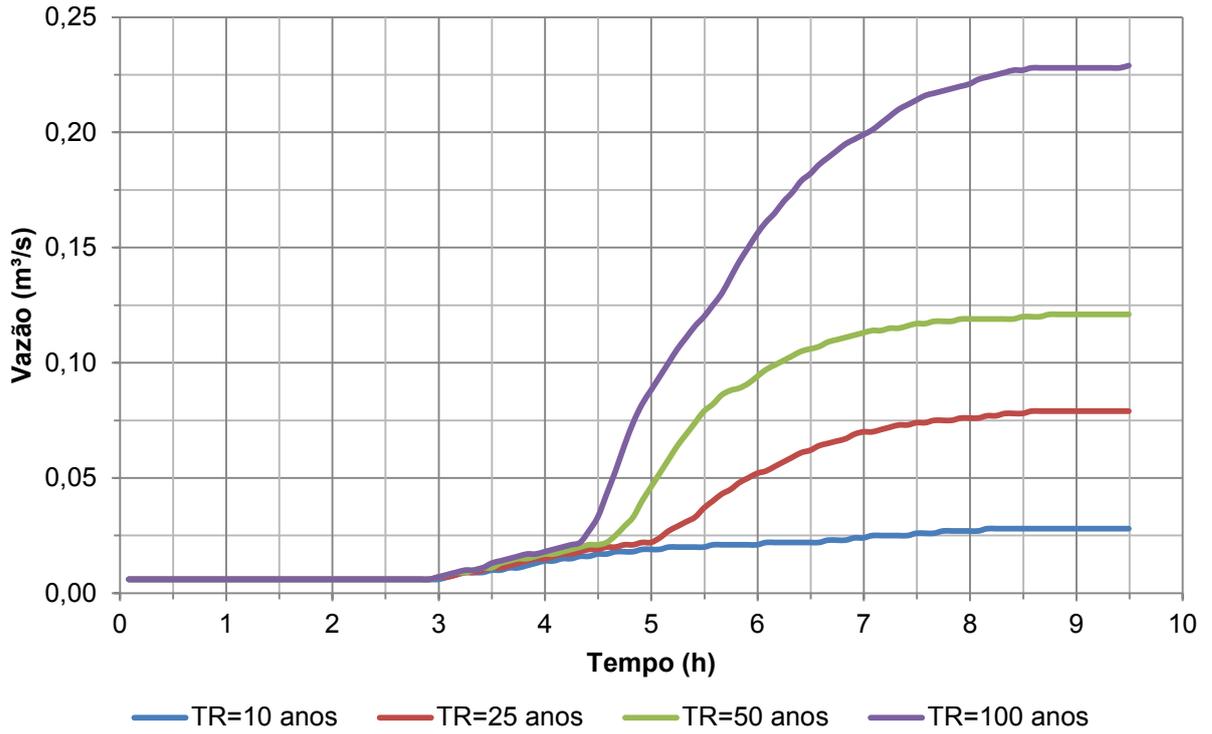


Figura 42. Cenário 1: Hidrograma de jusante no reservatório do Bananal.

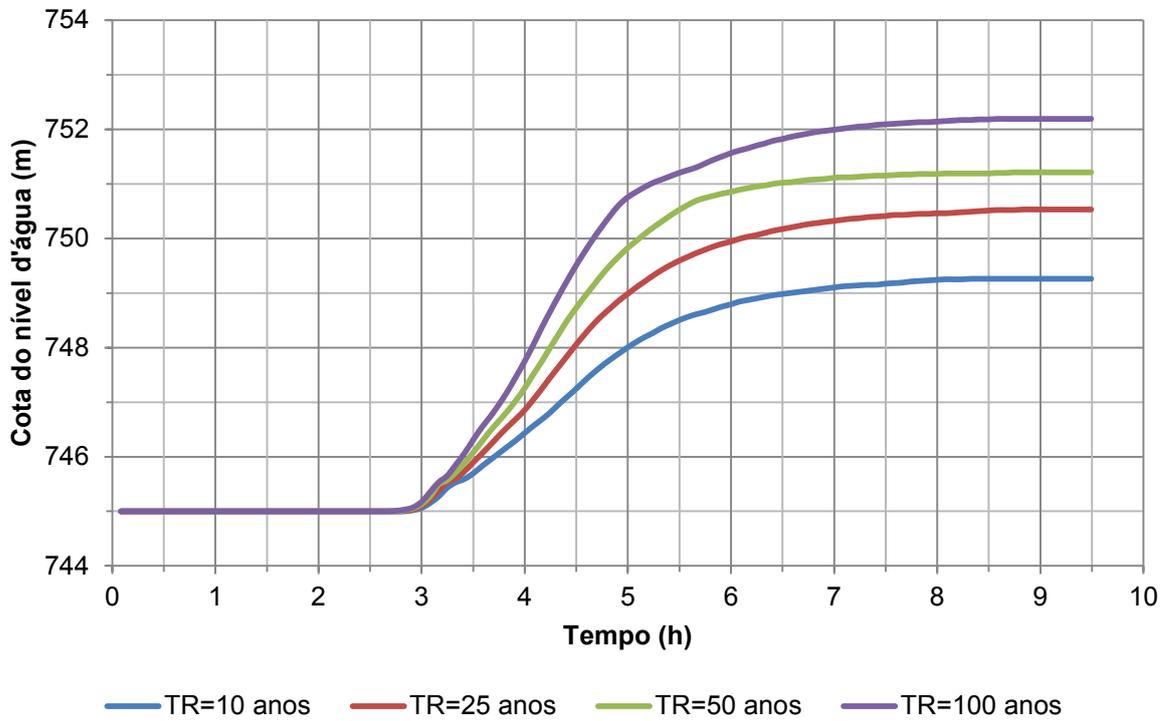


Figura 43. Cenário 1: Limnograma no reservatório do Bananal.

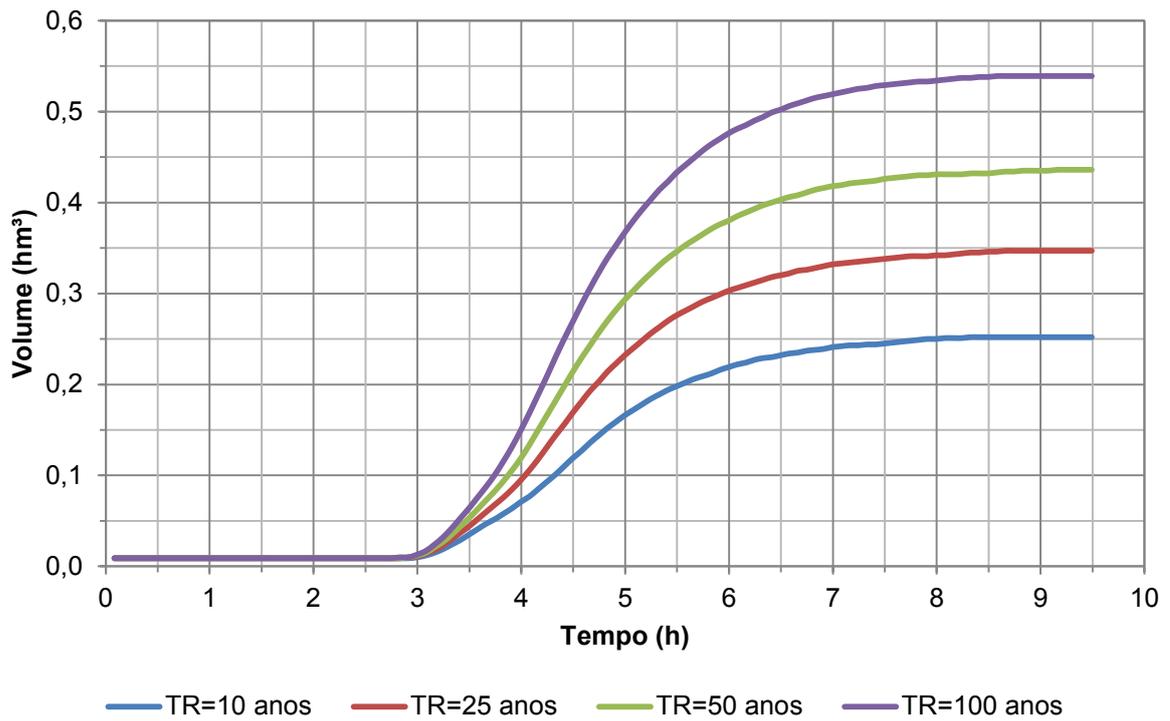
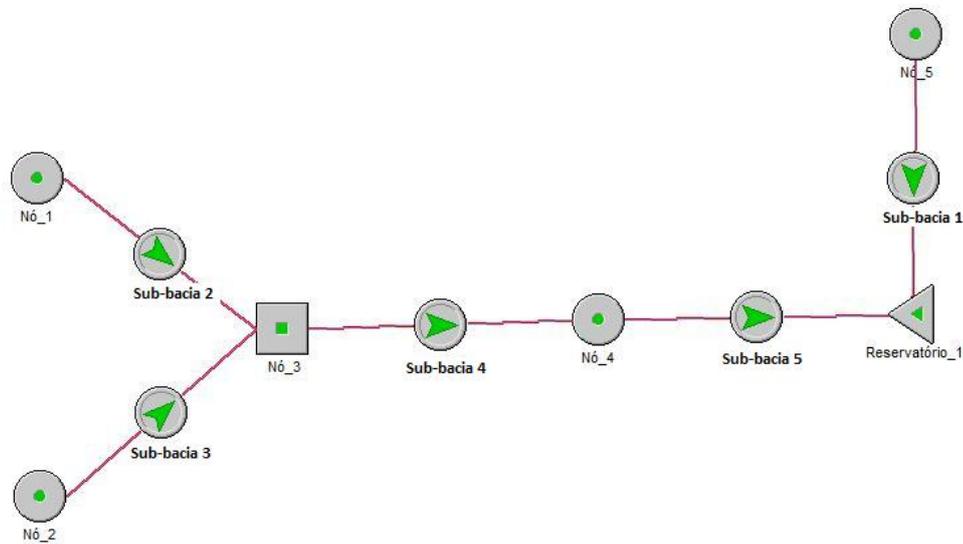


Figura 44. Cenário 1: Volume armazenado no reservatório do Bananal.

#### 4.2.3 Cenário 2: Implantação de Reservatório *Off-line* no Córrego Corumbé

Neste caso, o Reservatório do Corumbé está paralelo ao curso do rio, porém sua topologia no programa ABC6 não fica muito diferente da exposta no Cenário 1, conforme a Figura 45.

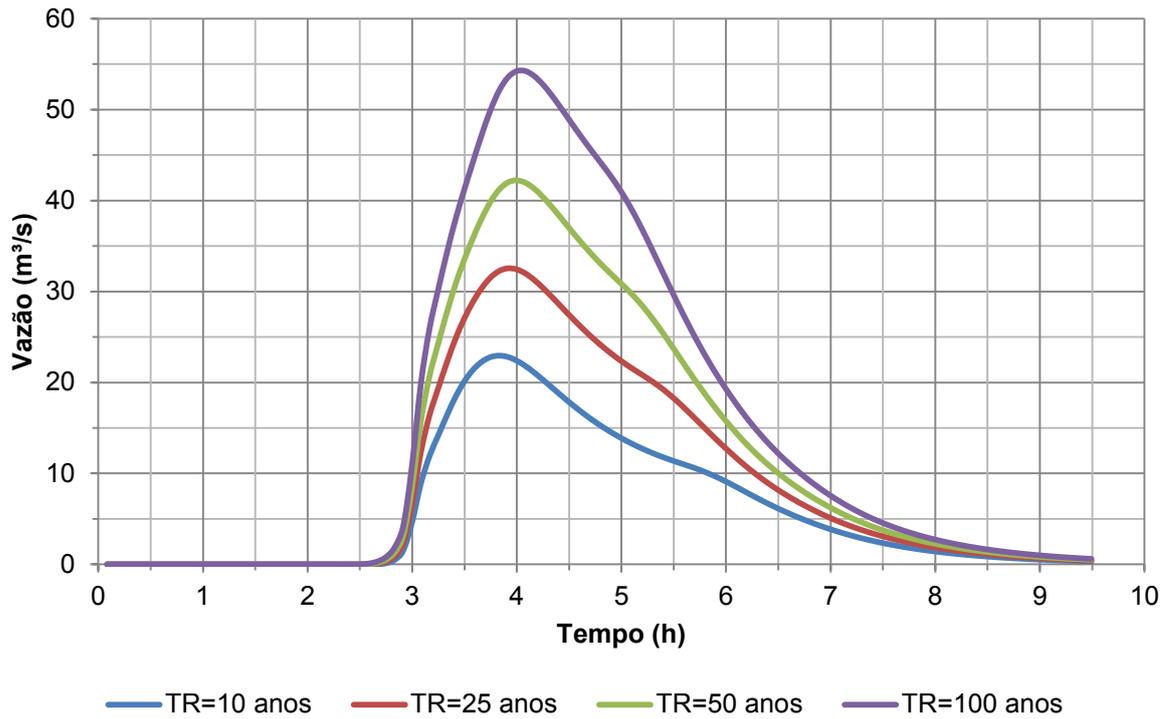


**Figura 45. Cenário 2: Topologia adotada para a Bacia do Bananal.**

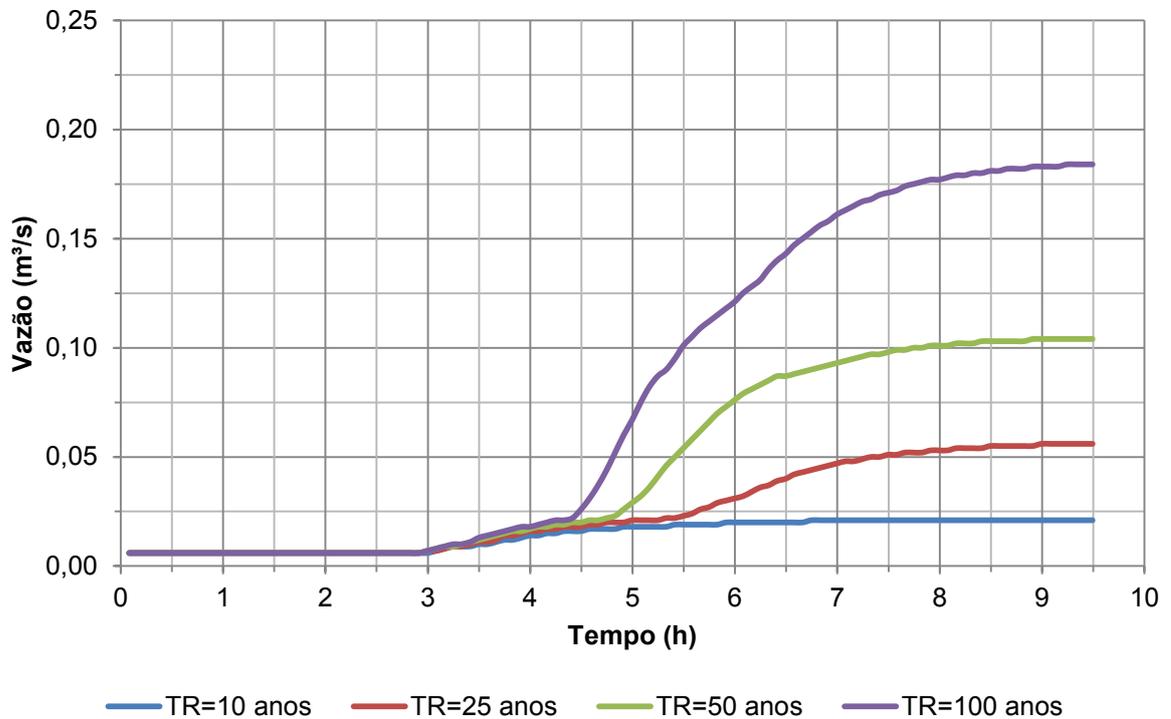
No Cenário 2, a entrada de dados do reservatório de detenção do Corumbé é mais simples, sendo:

- Área do reservatório em planta: 20.000 m<sup>2</sup>.
- Altura do reservatório: 3 m.
- Altura da lâmina d'água inicial: 0 m.

Nas figuras a seguir está ilustrados o comportamento da bacia do Bananal sob influência do amortecimento de cheias efetuado pelo reservatório do Corumbé operando *off-line*.



**Figura 46. Cenário 2: Hidrograma de montante no reservatório do Bananal.**



**Figura 47. Cenário 2: Hidrograma de jusante no reservatório do Bananal.**

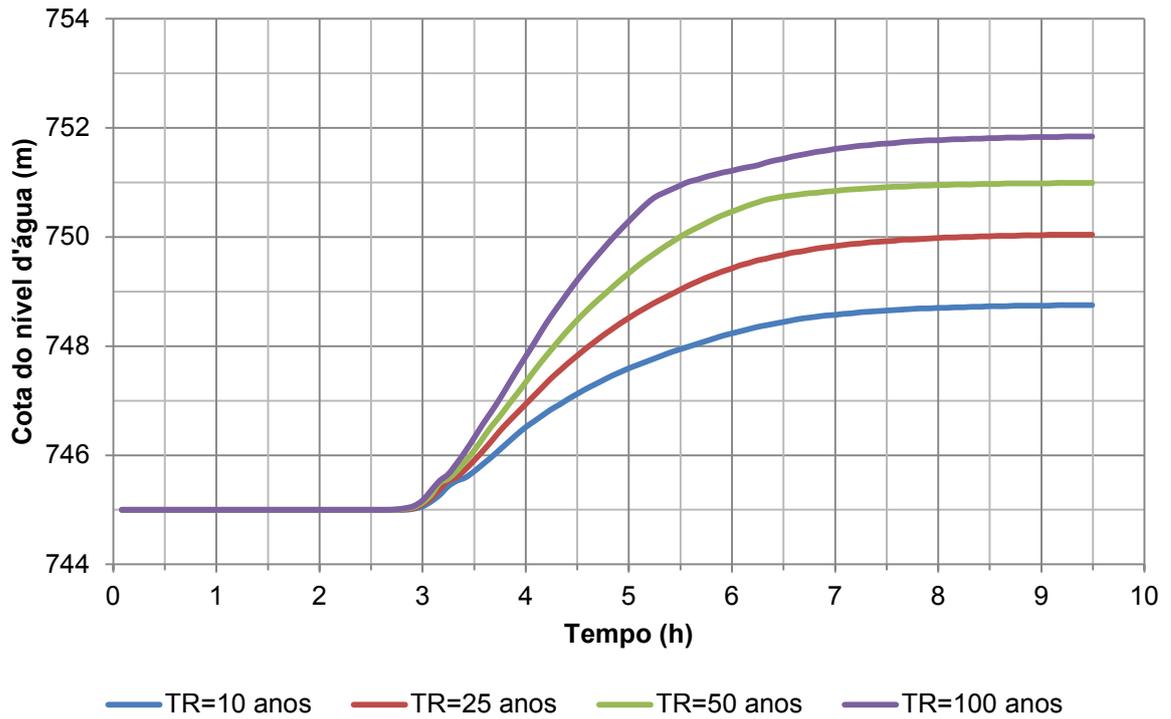


Figura 48. Cenário 2: Limnigrama no reservatório do Bananal.

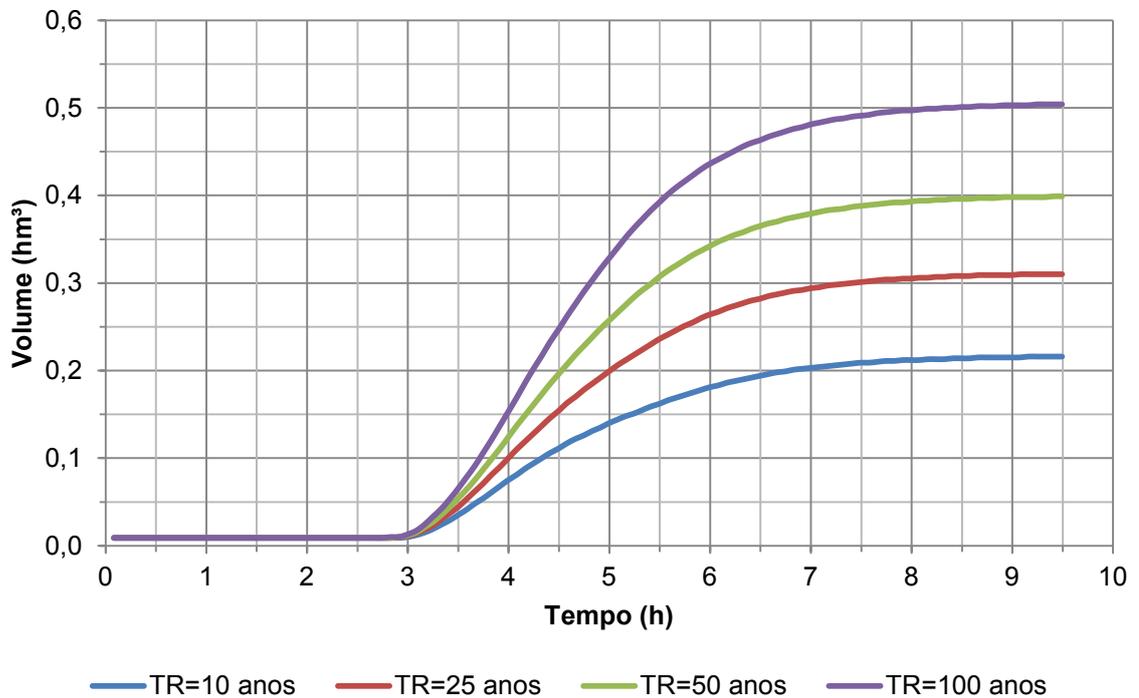
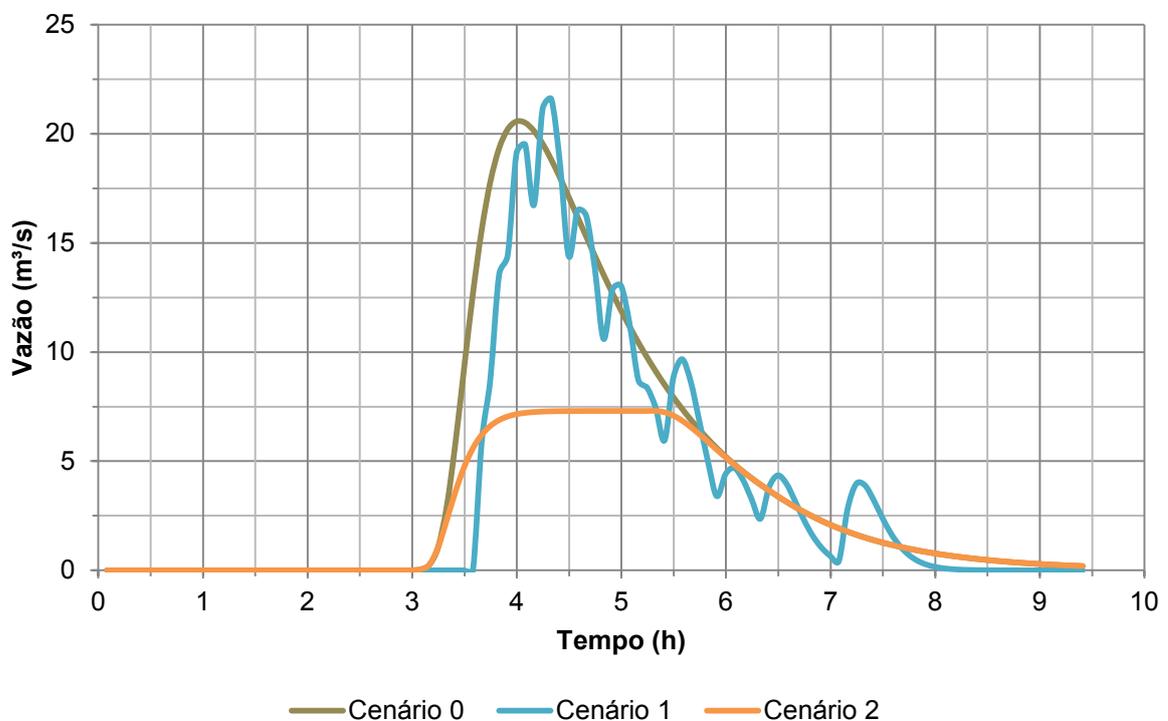


Figura 49. Cenário 2: Volume armazenado no reservatório do Bananal.

### 4.3 Avaliação dos Cenários

Conforme analisado nos itens precedentes, foram gerados, cada cenário, hidrogramas de montante e de jusante, limnigramas e curvas de volume armazenado no reservatório do Bananal para os períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos.

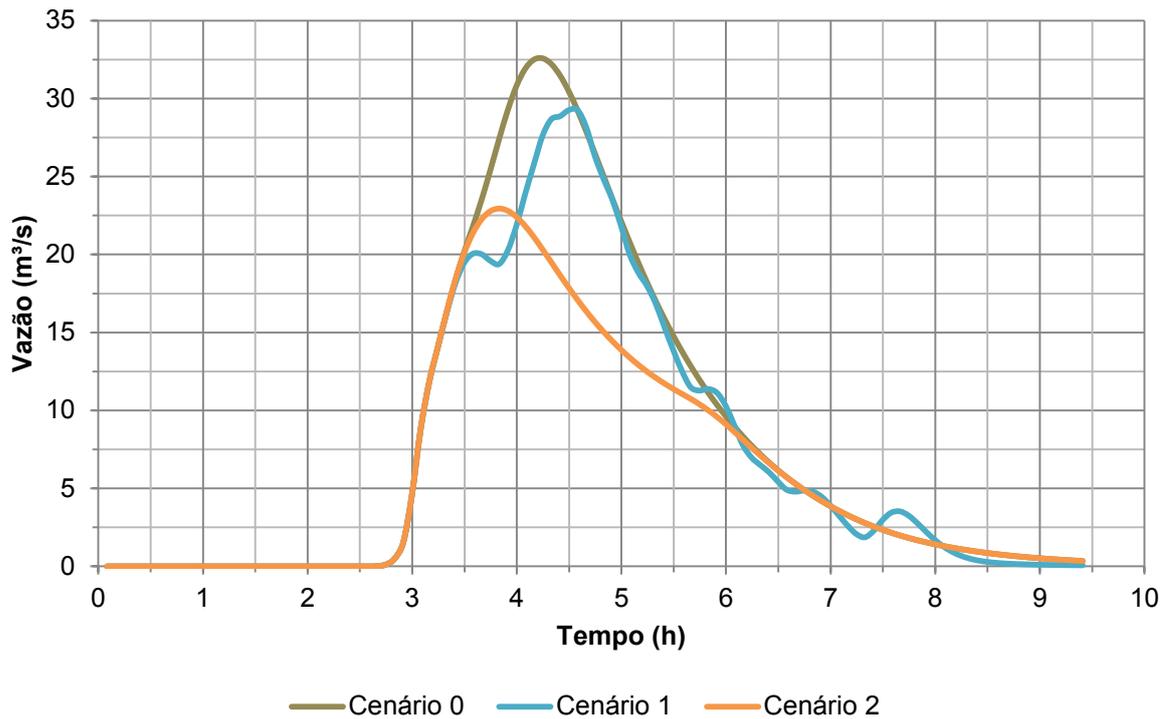
A Figura 50 contém o hidrograma de amortecimento na sub-bacia 3 (localização que pode eventualmente abrigar o reservatório do Corumbé) para período de retorno de 10 anos.



**Figura 50. Hidrogramas de amortecimento na sub-bacia 3 para TR = 10 anos.**

Observa-se que o Cenário 1 (reservatório *in-line*) apresenta amortecimento quase nulo do pico de vazão (e um retardamento de cerca de 15 minutos em sua ocorrência) em comparação ao Cenário 0. Isso ocorre à sua característica de ser um reservatório *in-line*, pois o reservatório *off-line* (Cenário 2) apresentou uma redução e um achatamento do pico de vazão muito mais significativo.

Os efeitos observados no entorno do local destinado à possível implantação do reservatório do Corumbé não foram tão expressivos junto à região do reservatório do Bananal, como é mostrado pela Figura 51.



**Figura 51. Hidrogramas de amortecimento no Reservatório do Bananal.**

Isso se deve ao reduzido tamanho que possui o reservatório projetado para o Corumbé. A Tabela 10 mostra que as diferenças entre as máximas cotas de nível d'água atingidas nas simulações realizadas foram mínimas quando se comparando os Cenários 0 e 1, mas são de cerca de 70 centímetros quando avaliado o Cenário 2.

**Tabela 10. Comparação de cotas de máximos níveis d'água dentre os cenários analisados.**

TR	Cenário 0	Cenário 1	Cenário 2
10 anos	749,47	749,26	748,75
25 anos	750,80	750,60	750,12
50 anos	751,50	751,25	751,04
100 anos	752,50	752,29	751,93

Os mapas que ilustram as manchas de inundação para os Cenários 0, 1 e 2 estão disponíveis nos Anexos D-1, D-2 e D-3, respectivamente.

## 5 DESCRIÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Até recentemente a ideia predominante na concepção de sistemas de drenagem era “proteger os centros urbanos das águas das chuvas, que deveriam ser escoadas o mais rapidamente possível” (SOUZA, 2002). Este conceito mais tradicional, baseado em noções de higienistas, buscava projetar obras hidráulicas eficientes, porém desligadas do planejamento de uso do solo. A preocupação principal era como o hidrograma resultante deveria ser tratado, e não com o controle da geração do escoamento – o que resultou sistemas com custos altos (e crescentes à medida que aumenta a complexidade do sistema) além de “escondidos” no subsolo.

Abordagens mais recentes não têm mais como objetivo prioritário afastar o escoamento o mais longe e rapidamente possível, mas sim retardá-lo ou infiltrá-lo. Ou seja, dentro de uma concepção mais ambiental/naturalista do que higienista, busca-se uma recuperação ou manutenção do ciclo hidrológico urbano atentando mais para o controle na geração e percurso do escoamento do que no seu desemboque. Ademais, expor as estruturas no espaço urbano de tal modo que a população as perceba possibilita também a percepção da existência do ciclo hidrológico bem como a participação de forma ativa da comunidade em sua manutenção.

O Congresso dos Estados Unidos refere-se ao conceito *Best Management Practice* (BMP) em diversos trechos do *Clean Water Act* (CWA), mas não o define (COPELAND, 2010). Em 1977, o CWA usou o conceito pioneiramente na descrição do plano de tratamento de resíduos (EUA, 1977). Já a referência ao termo BMP ligando-o diretamente à gestão das águas pluviais aparecem em 1987 também no CWA (EUA, 1987). Já no Brasil, as expressões em português para BMP no contexto do presente trabalho têm sido “melhor técnica de gerenciamento” e “melhor prática de gestão”, de acordo com a Prefeitura do Município de São Paulo em 2008 (TOMAZ, 2006).

Assim, compreendendo que qualquer ação antrópica necessariamente tem impacto sobre o meio em que se desenvolve, entende-se por BMPs as ações de cunho mitigatório dos impactos negativos gerados pela ação humana (BUREAU OF LAND MANAGEMENT, 2011). Tomando o enfoque deste trabalho, BMP são as

intervenções planejadas para lidar com as águas pluviais tendo em vista a melhoria de sua qualidade e o controle de cheias no ambiente urbano, conseqüentemente melhorando as condições ambientais e a qualidade de vida da população local.

As BMPs podem ser classificadas em estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são mais ligadas às obras hidráulicas em si, que promovam filtração, infiltração, detenção ou retenção das águas. As BMPs não estruturais são medidas associadas às ações de planejamento e pós-desenvolvimento, como planejamento do uso do solo, limpeza de ruas, coleta de resíduos sólidos, educação ambiental, manutenção de gramados, entre outras.

As medidas que foram avaliadas pelo presente trabalho são descritas sucintamente a seguir.

### 5.1 Trincheira de infiltração

As trincheiras de infiltração são elementos constituídos por valas rasas, preenchidas de material granular revestido por material geotêxtil que cumpre função estrutural e impede a entrada de finos no dispositivo, reduzindo o risco de colmatção. Tem por função principal drenar o escoamento superficial, armazenando temporariamente a água antes da sua infiltração no solo (SOUZA; GOLDENFUM, 2001).

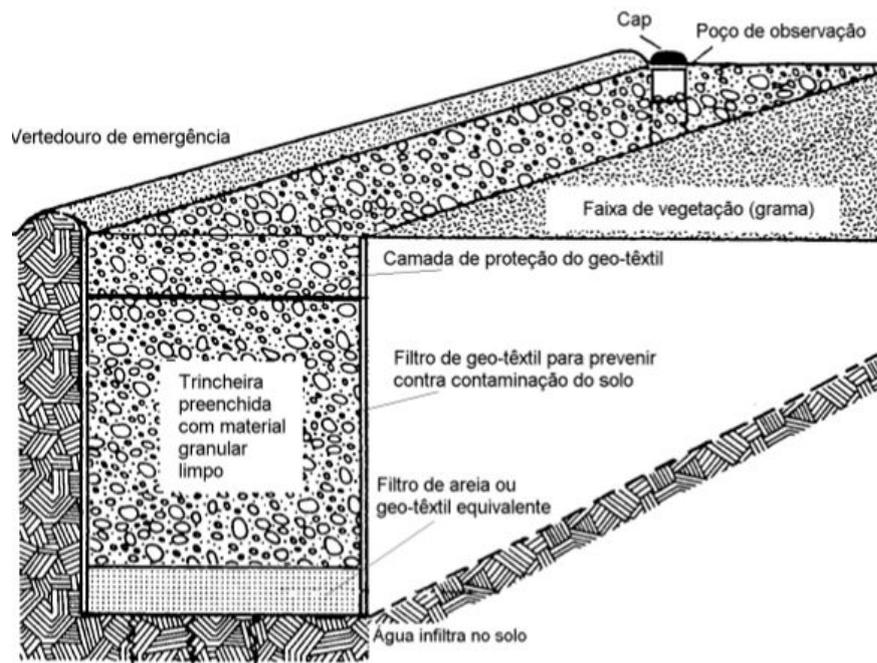


Figura 52. Seção típica de trincheira de infiltração (SOUZA, 2002).

## 5.2 Bacia de infiltração

Bacias de infiltração são áreas escavadas, *in-line* ou *off-line*, que não possuem volume de água permanente. Têm como funções principais a melhoria da qualidade das águas pluviais e o reabastecimento do aquífero subterrâneo. Devem necessariamente contar com pré-tratamento e atender a uma área de bacia variando de 2 ha a 6 ha. Caso seja *off-line*, na bacia de infiltração deverá ser feita uma caixa separadora para onde a água relativa ao volume a ser armazenado será desviada, enquanto que o excedente irá diretamente ao córrego mais próximo (TOMAZ, 2006).

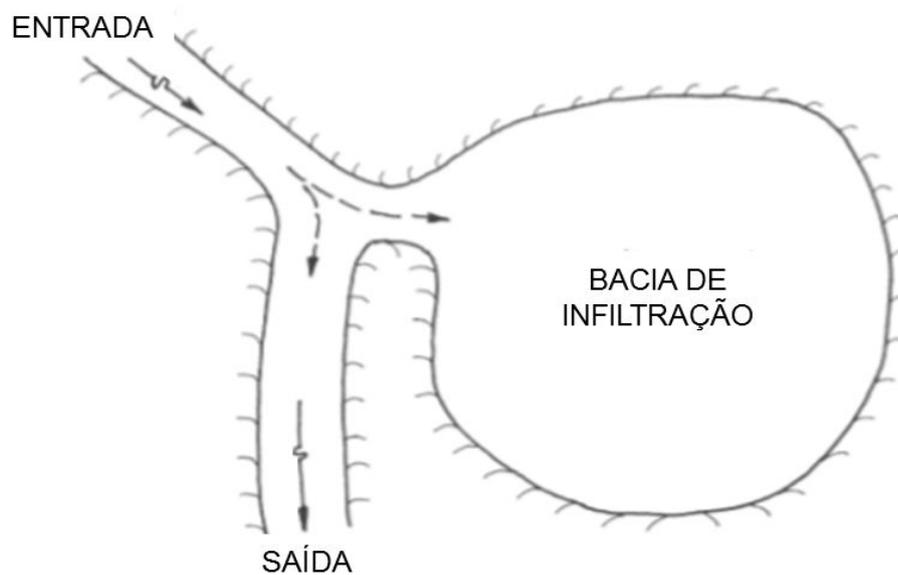


Figura 53. Esquema de bacia de infiltração *off-line* (TOMAZ, 2006).

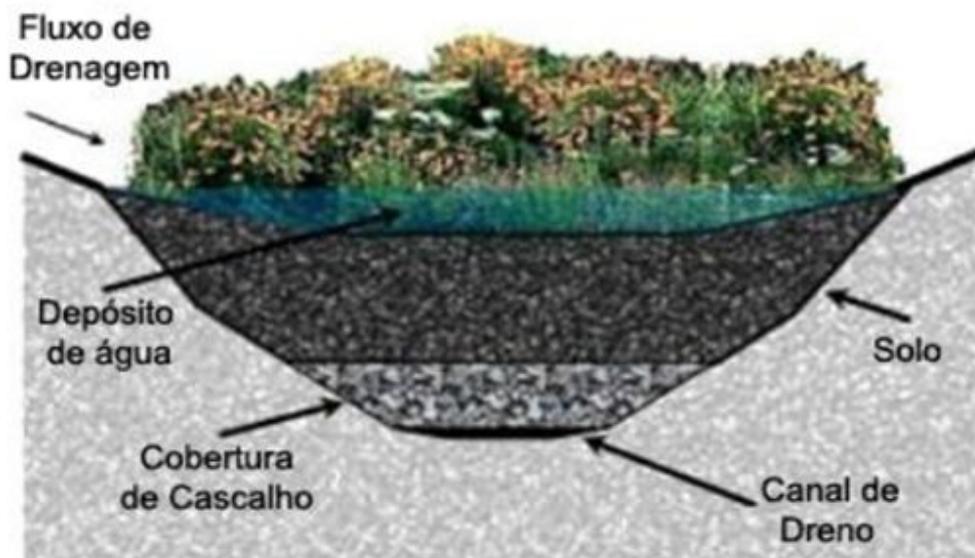


Figura 54. Corte típico de uma bacia de infiltração *off-line* (FREITAS et. al., 2011).

### 5.3 Pavimento modular

O pavimento modular é composto por peças rígidas (tijolos, blocos de concreto, cerâmica, etc.), com cerca de 30% de espaços vazios, que são preenchidos com materiais permeáveis (pedrisco, por exemplo) sobre uma camada de pedra britada para armazenamento das águas de chuva. No pavimento modular de concreto a água infiltra principalmente pelas juntas, não pelos blocos em si (TOMAZ, 2010).

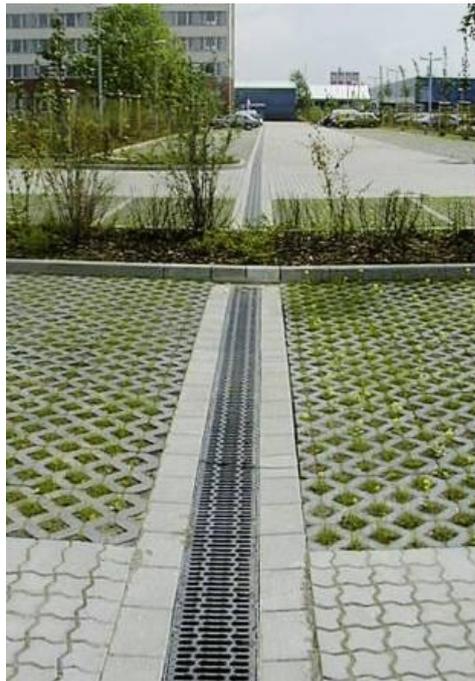


Figura 55. Pavimento modular (blocos vazados e intertravados) em estacionamento.

### 5.4 Pavimento poroso

O pavimento poroso é um pavimento de concreto asfáltico ou de cimento Portland em que não existem agregados finos (partículas menores que 600  $\mu\text{m}$ ) e que permite que as águas das chuvas penetrem através da superfície do próprio material para o solo, e não somente pelas juntas. O pavimento poroso asfáltico (CPA) tem agregados com vazios de 40% e o de concreto com 17%. Esta BMP proporciona redução da área impermeável, recarga de aquífero subterrâneo e melhoria da qualidade das águas pluviais (TOMAZ, 2009). Esse tipo de pavimento também confere maior segurança ao rolamento por diminuir a formação de filme d'água sobre a pista, evitando a ocorrência de aquaplanagem.



Figura 56. Concreto poroso asfáltico (CPA) mostrando sua propriedade drenante.

## 5.5 Filtro de areia

Os filtros de areia destinam-se principalmente ao tratamento do *first flush* das águas de chuvas e trabalham em escoamento temporário, isto é, ao chover a água fica armazenada até o escoamento total e depois o filtro seca.

Construído preferencialmente *off-line*, o filtro de areia possui quatro elementos principais: regulador de fluxo, que desvia o fluxo para o pré-tratamento; pré-tratamento, que retém folhas, sedimentos, óleos e graxas; tratamento propriamente dito e os filtros e a estrutura de saída (TOMAZ, 2006).

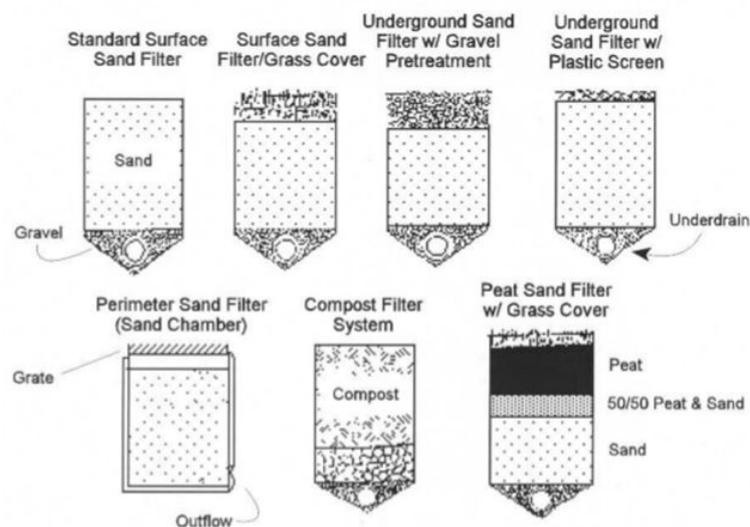


Figura 57. Seções transversais de diversos tipos de filtros de areia (TOMAZ, 2006).

## 5.6 Faixa de filtro gramada

As faixas de filtro gramadas (ou biofiltros ou *filter strips*) consistem de áreas ou regiões recobertas com grama ou vegetação similar que têm por objetivo receber o escoamento superficial de águas pluviais de áreas permeáveis ou impermeáveis para tratá-las através da infiltração no solo e da filtração proporcionada pela vegetação. Além disso, auxiliam na recarga de aquíferos subterrâneos em áreas onde a permeabilidade do solo for favorável e não haja contaminação. Usadas comumente como pré-tratamento de outras BMPs, também proporcionam diminuição da velocidade do escoamento superficial direto e benefícios estéticos e paisagísticos, agregando áreas verdes aos espaços livres (TOMAZ, 2006).



Figura 58. Faixa de filtro gramada à beira de um córrego.

## 5.7 Bacia de retenção (alagada)

Bacias de retenção alagadas (ou bacias molhadas ou *wet ponds* ou *wet reservoir*) é uma lagoa com dois reservatórios, um permanente e outro temporário. Esta medida estrutural tem por principais objetivos o amortecimento dos hidrogramas de cheias e a melhoria da qualidade das águas pluviais. Esta melhoria se dá de maneira bastante eficiente, pois os poluentes são removidos pela ação da gravidade e também por processos biológicos (TOMAZ, 2006).



Figura 59. Bacia de retenção (TOMAZ, 2006).

### 5.8 Bacia de detenção estendida (seca)

Bacias de detenção são estruturas hidráulicas de acumulação temporária de águas pluviais utilizadas para atender às seguintes funções diretamente relacionadas com a drenagem urbana: amortecimento de cheias como forma de controle de inundações urbanas e redução da poluição difusa de origem pluvial, em especial do *first flush* (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

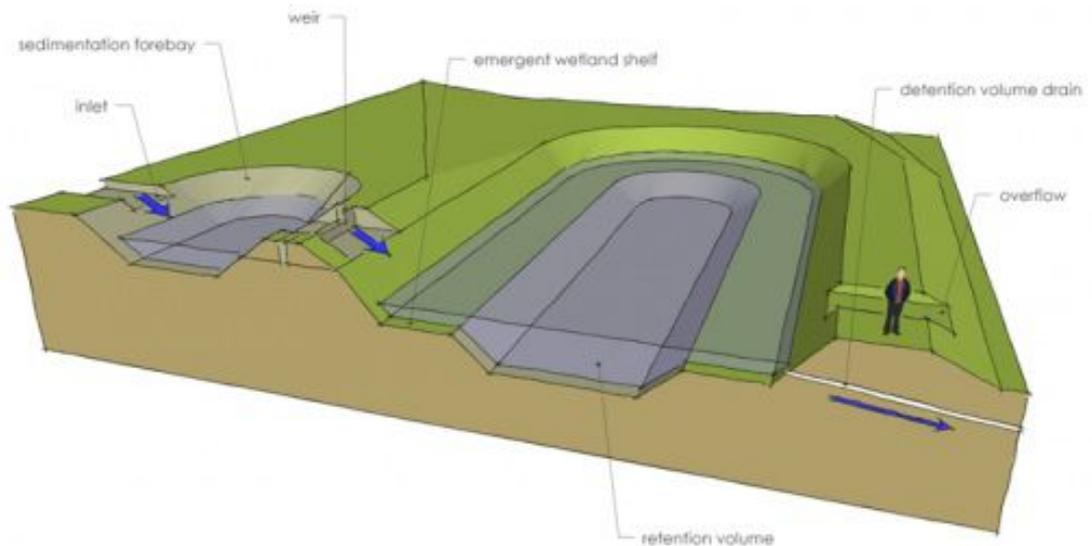


Figura 60. Esquema de reservatório de detenção, com seus principais constituintes.

Podem ser *in-line* ou *off-line* e devem deter o volume das águas pluviais por no máximo 48h, tempo após o qual devem secar e assim permanecer, principalmente para evitar a proliferação de vetores. (TOMAZ, 2006).



Figura 61. Foto aérea do “piscinão” Eliseu de Almeida.

## 5.9 Wetland

*Wetlands* são áreas que estão inundadas na superfície ou saturadas na água subterrânea numa frequência e condições a suportar uma vegetação típica adaptada para vida em solo saturado.

As *wetlands* podem ser naturais ou artificiais. As naturais constituem-se das várzeas, pântanos, mangues e brejos e são elementos importantíssimos nas bacias, pois servem de ligação entre as terras adjacentes e os recursos hídricos, regularizam os fluxos de água, controlam a qualidade da água, controlam a erosão, servem como área de refúgio da fauna terrestre e exercem importante função na reprodução e alimentação da fauna aquática (Figura 62).



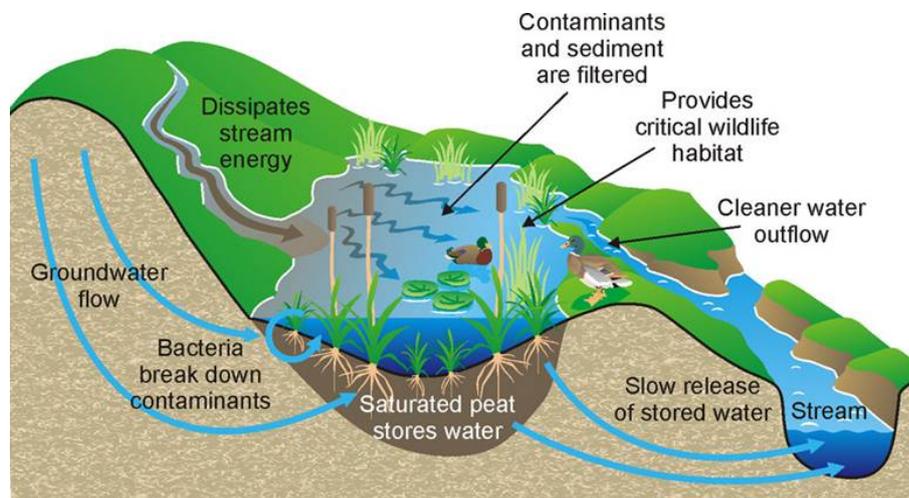
**Figura 62. Pantanal mato-grossense, a maior *wetland* natural do mundo.**

Já as *wetlands* artificiais são aquelas construídas pelo homem com objetivo de combater a poluição difusa, servir de tratamento secundário para tratamento de esgoto doméstico de pequenas cidades, controlar cheias, produzir alimentos para a aquicultura, paisagismo, lazer, dentre outros (Figura 63). As *wetlands* artificiais podem ser classificadas de acordo com o tipo de escoamento em: superficial, sub superficial e de escoamento híbrido (TOMAZ, 2006).



**Figura 63. Exemplo de *wetland* artificial construída no Quênia (UNEP, 2001).**

Os mecanismos de remoção de poluentes e nutrientes das *wetlands* podem ser físicos (filtração) ou químicos (adsorção), mas são principalmente biológicos. A remoção biológica ocorre por causa da presença de diversas espécies de plantas emergentes, submergentes e flutuantes. Elas adicionam oxigênio à água, atraem sólidos em suspensão da coluna d'água para sua superfície e providenciam superfície para a formação de biofilmes, que são comunidades biológicas bacterianas que se encontram embebidas em matrizes poliméricas produzidas por elas próprias, que captam os nutrientes presentes na água.



**Figura 64. Esquema de funcionamento de uma *wetland*.**  
(fonte: <http://bragi0.com/Wetlands.dwt>).

### 5.10 Canal gramado

Os canais gramados são técnicas compensatórias constituídas por pequenas depressões escavadas no solo, cobertas por grama, com objetivo de recolher o escoamento superficial das águas pluviais, efetuar seu armazenamento temporário e favorecer sua infiltração. Têm como principal objetivo a melhoria da qualidade das águas pluviais pelo fenômeno da filtração e podem contar com pré-tratamento. A diferença entre as faixas de filtro gramadas e os canais gramados reside no fato de na primeira o fluxo da água ser laminar enquanto que, na última, o fluxo é concentrado (maior volume d'água).



Figura 65. Canal gramado.

### 5.11 Bacia de retenção comunitária

Bacias de retenção comunitárias são estruturas hidráulicas de amortecimento, em forma de tanques, pré-fabricados ou feitos in loco, enterrados ou a céu aberto, de alvenaria ou concreto, conectados ou não ao sistema de drenagem urbana (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

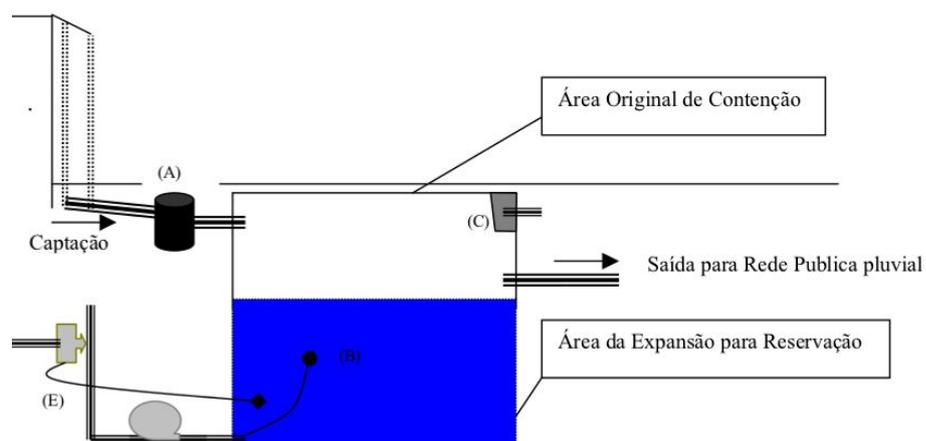


Figura 66. Esquema de uma “piscininha” com ligação ao sistema de drenagem urbana. (AQUASTOCK, 2003). (A) pré-filtro; (B) filtro flutuante grosso com mangueira; (C) ladrão multissifão; (D) bomba de sucção; (E) kit de interligação com a rede pública.

Os tanques de amortecimento em si podem ser individuais nos lotes ou agrupados em quadras (comunitários). Nesta última opção deve-se dar preferência para local as estruturas em lotes de equipamentos públicos como escolas, creches, quadras,

entre outros. As águas armazenadas não devem ser destinadas ao consumo humano por razões sanitárias e que, caso não haja ligação com rede de drenagem, deve ser previsto um sistema de extravasamento para sarjetas, como medida de segurança.

### **5.12 Educação ambiental**

A educação ambiental é uma metodologia de ensino que tem como principal função conscientizar, principalmente, crianças e adolescentes sobre a importância da preservação do meio ambiente e do uso sustentável dos recursos naturais.

No Brasil, a educação ambiental tornou-se obrigatória com a promulgação da Lei nº 9.795, em 27 de abril de 1999, que versa sobre seus princípios, objetivos e institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Em seu primeiro artigo, a Lei nº 9.795 define educação ambiental como sendo “os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade”.

### **5.13 Limpeza de ruas**

A limpeza de ruas constitui-se em uma atividade de saneamento de responsabilidade do gestor público e é de interesse comunitário, devendo ser tratada priorizando o aspecto coletivo em relação ao individual, respeitando os anseios da maioria dos cidadãos.

Entre os principais motivos para que as ruas sejam mantidas limpas estão os sanitários, para prevenção de doenças; os estéticos, para melhoria da aparência e valorização material e imaterial do local e os de segurança, para prevenção de danos a veículos e para promoção da segurança do tráfego (ZVEIBIL, 2001).

Os serviços de limpeza dos logradouros e praças costumam cobrir atividades como: varrição (manual ou mecanizada), capina e raspagem, roçagem, limpeza de ralos, limpeza de feiras.

### **5.14 Coleta de resíduos sólidos**

Coletar o lixo significa recolher o lixo acondicionado por quem o produz para encaminhá-lo, mediante transporte adequado, a uma possível estação de transferência, a um eventual tratamento e à disposição final. Coleta-se o lixo para evitar problemas de saúde que ele possa propiciar.

A coleta e o transporte do lixo domiciliar produzido em imóveis residenciais, em estabelecimentos públicos e no pequeno comércio são, em geral, efetuados pelo órgão municipal encarregado da limpeza urbana. Para esses serviços, podem ser usados recursos próprios da prefeitura, de empresas sob contrato de terceirização ou sistemas mistos, como o aluguel de viaturas e a utilização de mão-de-obra da prefeitura.

O lixo dos "grandes geradores" (estabelecimentos que produzem mais que 120 litros de lixo por dia) deve ser coletado por empresas particulares, cadastradas e autorizadas pela prefeitura. Em cidades turísticas, têm-se como exemplo de grandes geradores de resíduos sólidos os hotéis, os restaurantes e os quiosques.

Pode-se então conceituar como coleta domiciliar comum ou ordinária o recolhimento dos resíduos produzidos nas edificações residenciais, públicas e comerciais, desde que não sejam, estas últimas, grandes geradoras (ZVEIBIL, 2001).

A coleta pode ser indiferenciada ou seletiva. A coleta seletiva compreende a separação de materiais recicláveis de materiais orgânicos ou não recicláveis. A coleta indiferenciada é aquela em que não ocorre nenhum tipo de separação dos resíduos pelo tipo de material.

### **5.15 Parque linear**

De acordo com o artigo 106 do Programa de Recuperação Ambiental de Cursos D'Água e Fundos de Vale, parques lineares são definidos como "intervenções urbanísticas que visam recuperar para os cidadãos a consciência do sítio natural em que vivem, ampliando progressivamente as áreas verdes" (BONDUKI; FERREIRA, 2006a).

No entanto, segundo proposta preliminar elaborada pelo Laboratório de Habitação e Assentamentos Humanos (BONDUKI; FERREIRA, 2006a), o conceito de parque linear é ampliado para: “uma intervenção urbanística associada à Rede Hídrica, em fundo de vale, mais especificamente na planície aluvial, e tem como objetivos:

- Proteger ou recuperar os ecossistemas lindeiros aos cursos e corpos d’água;
- Conectar áreas verdes e espaços livres de um modo geral;
- Controlar enchentes;
- Prover áreas verdes para o lazer”.



**Figura 67. Projeto de expansão do parque linear do Barigui, em Curitiba, PR. (PREFEITURA DE CURITIBA, 2011).**

## 6 ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

A análise de decisão multicritério é uma ferramenta que possibilita a avaliação estruturada de cenários ou alternativas para a solução de um problema. Essa avaliação é efetuada do ponto de vista de diversos grupos de decisores, baseando-se na atribuição de pesos a critérios e subcritérios.

### 6.1 Definição de critérios e subcritérios

Escolheram-se seis critérios. São eles:

- Ambiental;
- Econômico/Financeiro;
- Técnico;
- Social;
- Político;
- Estético.

Para cada um dos critérios, foram definidos um ou mais subcritérios.

Todas as alternativas foram classificadas usando cada um dos subcritérios. Para cada subcritério atribuiu-se uma nota de 1 a 5, usando uma relação apresentada posteriormente, na qual a nota 1 representa uma resposta indesejada, muito onerosa ou desvantajosa para o sistema como um todo, enquanto que a nota 5 representa uma resposta desejável, benéfica ou positiva para o sistema.

A seguir são descritos os critérios e subcritérios e os significados de suas notas na valoração do ADMC.

#### 6.1.1 Ambiental

##### Renaturalização

O quanto a alternativa pode contribuir para o retorno do ambiente à condição inicial, antes da ação antrópica, no que se refere à vegetação e fauna.

**Tabela 11. Gradações do subcritério “Renaturalização”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

Proteção de fauna e flora

O quanto a alternativa pode contribuir para a preservação da fauna e flora atuais.

**Tabela 12. Gradações do subcritério “Proteção de fauna e flora”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

Recuperação de áreas degradadas

O quanto a alternativa pode contribuir para a recuperação de solos degradados.

**Tabela 13. Gradações do subcritério “Recuperação de áreas degradadas”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

Proteção de APP

O quanto a alternativa pode contribuir para manutenção e preservação de APPs (Áreas de Proteção Permanente) que estejam nas proximidades.

**Tabela 14. Gradações do subcritério “Proteção de APP”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

Melhoria de qualidade das águas do córrego

O quanto a alternativa pode contribuir para a melhoria da qualidade de parâmetros ambientais da qualidade da água do córrego do Bananal.

**Tabela 15. Gradações do subcritério “Melhoria de qualidade das águas do córrego”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

### 6.1.2 Econômico/Financeiro

#### Custo de implantação

O quanto a alternativa custará para ser implantada por cada metro quadrado construído/implantado.

**Tabela 16. Gradações do subcritério “Custo de implantação”.**

1	2	3	4	5
Mais do que R\$ 40/m <sup>2</sup>	De R\$ 21/m <sup>2</sup> Até R\$ 40/m <sup>2</sup>	De R\$ 6/m <sup>2</sup> Até R\$ 20/m <sup>2</sup>	De R\$ 3/m <sup>2</sup> Até R\$ 5/m <sup>2</sup>	Menos do que R\$ 3/m <sup>2</sup>

#### Custo anual de manutenção

O quanto custará anualmente para realizar a manutenção de cada metro quadrado da alternativa.

**Tabela 17. Gradações do subcritério “Custo anual de manutenção”.**

1	2	3	4	5
Mais do que R\$ 50/m <sup>2</sup> /ano	De R\$ 21/m <sup>2</sup> /ano Até R\$ 50/m <sup>2</sup> /ano	De R\$ 11/m <sup>2</sup> /ano Até R\$ 20/m <sup>2</sup> /ano	De R\$ 6/m <sup>2</sup> /ano Até R\$ 10/m <sup>2</sup> /ano	Menos do que R\$ 6/m <sup>2</sup> /ano

### 6.1.3 Técnico

#### Eficiência de remoção de DBO

O potencial de redução da carga orgânica (DBO) das águas do córrego.

**Tabela 18. Gradações do subcritério “Eficiência de remoção de DBO”.**

1	2	3	4	5
Abaixo de 60%	De 60% Até 70%	De 71% Até 80%	De 81% Até 90%	Acima de 90%

### Eficiência de remoção de TSS

O potencial de redução da carga de sólidos em suspensão (TSS) das águas do córrego.

**Tabela 19. Gradações do subcritério “Eficiência de remoção de TSS”.**

1	2	3	4	5
Abaixo de 60%	De 60% Até 70%	De 71% Até 80%	De 81% Até 90%	Acima de 90%

### Vida útil de projeto

Quanto tempo a alternativa durará supondo operações de manutenção regulares.

**Tabela 20. Gradações do subcritério “Vida útil de projeto”.**

1	2	3	4	5
Até 10 anos	De 11 anos Até 25 anos	De 26 anos Até 50 anos	De 51 anos Até 100 anos	Acima de 100 anos

### Impactos gerados por eventual falha

A gravidade dos impactos negativos supondo a falha da alternativa. Quando a falha da alternativa gerar situações similares às atuais, considerou-se que não haveria impacto (nota 5) ou que impactaria muito pouco (nota 4).

**Tabela 21. Gradações do subcritério “Impactos gerados por eventual falha”.**

1	2	3	4	5
Impacta muito	Impacta medianamente	Impacta pouco	Impacta muito pouco	Não impacta

### Melhoria do desempenho do reservatório de detenção do bananal

O quanto a alternativa pode contribuir para a melhoria de desempenho do piscinão no que diz respeito a funcionalidade e mitigação dos impactos negativos gerados pela má gestão do reservatório de detenção.

**Tabela 22. Gradações do subcritério “Melhoria do desempenho do reservatório de detenção do Bananal”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

### Redução dos danos de inundações

O quanto a alternativa pode contribuir para a redução dos danos gerados por inundações sofridas pela região.

**Tabela 23. Gradações do subcritério “Redução dos danos de inundações”.**

1	2	3	4	5
Não reduz	Reduz muito pouco	Reduz pouco	Reduz medianamente	Reduz muito

### Uso múltiplo

A quantidade de múltiplos usos distintos que a alternativa pode promover.

**Tabela 24. Gradações do subcritério “Uso múltiplo”.**

1	2	3	4	5
Um uso	Dois usos	Três usos	Quatro usos	Cinco ou mais usos

### Complexidade técnica

Quão complexa será a implementação e operação da alternativa do ponto de vista técnico.

**Tabela 25. Gradações do subcritério “Complexidade técnica”.**

1	3	5
Muito complexa	Medianamente complexa	Pouco complexa

### Disponibilidade de parâmetros

Disponibilidade de parâmetros e dados de projeto necessários para a implementação adequada da alternativa.

**Tabela 26. Gradações do subcritério “Disponibilidade de parâmetros”.**

1	3	5
Muito complexa	Medianamente complexa	Pouco complexa

Necessidade de pré-tratamento

Necessidade ou não de pré-tratamento para a alternativa.

**Tabela 27. Gradações do subcritério “Necessidade de pré-tratamento”.**

1	5
Sim	Não

Contribuição para recarga de aquífero subterrâneo

Se a alternativa contribui para a recarga do aquífero subterrâneo.

**Tabela 28. Gradações do subcritério “Contribuição para recarga de aquífero subterrâneo”.**

1	5
Sim	Não

**6.1.4 Social**Melhoria dos índices de saúde pública da região

O potencial de melhoria dos índices de saúde pública da região.

**Tabela 29. Gradações do subcritério “Melhoria dos índices de saúde pública da região”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

Melhoria dos índices de qualidade de vida local

O potencial de melhoria dos índices de qualidade de vida.

**Tabela 30. Gradações do subcritério “Melhoria dos índices de qualidade de vida da região”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

### Geração de empregos

O potencial de geração de empregos da alternativa.

**Tabela 31. Gradações do subcritério “Geração de empregos”.**

1	3	5
Não gera	Gera poucos	Gera muitos

### Melhoria da infraestrutura urbana

O quanto a alternativa melhora a infraestrutura urbana da região.

**Tabela 32. Gradações do subcritério “Melhoria da infraestrutura urbana”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

### Contenção da mancha de expansão urbana

O quanto a alternativa pode contribuir para a contenção da expansão da mancha urbana.

**Tabela 33. Gradações do subcritério “Contenção da mancha de expansão urbana”.**

1	2	3	4	5
Não contribui	Contribui muito pouco	Contribui pouco	Contribui medianamente	Contribui muito

## **6.1.5 Político**

### Dificuldade de implantação

Dificuldade política de implantação da aprovação da alternativa.

**Tabela 34. Gradações do subcritério “Dificuldade de implantação”.**

1	3	5
Dificuldade elevadíssima	Dificuldade média	Dificuldade baixa

Visibilidade política

Visibilidade política da medida.

**Tabela 35. Gradações do subcritério “Visibilidade política”.**

1	3	5
Pouco visível	Medianamente visível	Muito visível

Complexidade jurídica

Complexidade das questões jurídicas envolvidas na implantação de cada alternativa.

**Tabela 36. Gradações do subcritério “Complexidade jurídica”.**

1	3	5
Muito complexo	Medianamente complexo	Pouco complexo

**6.1.6 Estético**Impacto paisagístico

Alterações estéticas causadas pela implantação da medida.

**Tabela 37. Gradações do subcritério “Impacto paisagístico”.**

1	2	3	4	5
Causa aversão	Leve desconforto estético	Indiferente	Agradável	Muito agradável

**6.2 Atribuição de pesos relativos aos subcritérios**

Calcularam-se os pesos relativos de cada um dos subcritérios usando a média dos pesos atribuídos por cada integrante do presente trabalho. Vale mencionar que os subcritérios foram comparados somente com os outros subcritérios do próprio conjunto, isto é: nenhum dos subcritérios do conjunto Ambiental foi comparado diretamente com nenhum outro subcritério do conjunto Social, por exemplo, no cálculo de seu peso relativo.

Na matriz de atribuição dos pesos relativos, utilizaram-se os seguintes números (de 1 a 5) para expressar as relações entre eles:

1. Subcritério da linha é muito menos importante do que o subcritério da coluna;

2. Subcritério da linha é menos importante do que o subcritério da coluna;
3. Subcritério da linha é tão importante quanto o subcritério da coluna;
4. Subcritério da linha é mais importante do que o subcritério da coluna;
5. Subcritério da linha é muito mais importante do que o subcritério da coluna.

Para ilustrar esta atribuição, segue Tabela 38 como exemplo.

**Tabela 38. Exemplo de comparação de subcritérios.**

	SC1	SC2
SC1	3	2
SC2	4	3

A Tabela 38 mostra que o subcritério 1 (SC1) é menos importante do que o subcritério 2 (SC2).

Note que desta forma, todos os elementos da diagonal principal obterão nota 3.

Para manter coerência nos dados (matriz simétrica), foram atribuídos pesos relativos apenas para os elementos acima da diagonal principal e para aquelas células abaixo da diagonal principal, fez-se o seguinte cálculo:  $a_{j,i} = 6 - a_{i,j}$ . Desta forma, a média entre  $a_{i,j}$  e  $a_{j,i}$  sempre será igual a 3.

**Tabela 39. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Ambiental”).**

AMBIENTAL	Renaturalização	Proteção de fauna e flora	Recuperação de áreas degradadas	Proteção de APP	Melhoria de qualidade das águas do córrego
Renaturalização	3	2,25	2	2	1,75
Proteção de fauna e flora	3,75	3	2,25	2,75	2,75
Recuperação de áreas degradadas	4	3,75	3	3,25	3,25
Proteção de APP	4	3,25	2,75	3	2,75
Melhoria de qualidade das águas do córrego	4,25	3,25	2,75	3,25	3

Tabela 40 - Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Econômico/Financeiro”).

ECONÔMICO/ FINANCEIRO	Custo de implantação	Custo anual de manutenção
Custo de implantação	3	2,5
Custo anual de manutenção	3,5	3

Tabela 41. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Técnico”).

TÉCNICO	Eficiência de remoção de DBO	Eficiência de remoção de TSS	Vida útil de projeto	Impactos gerados por eventual falha	Melhoria do desempenho do piscinão do bananal	Redução dos danos de inundações	Uso múltiplo	Complexidade técnica	Disponibilidade de parâmetros	Necessidade de pré-tratamento	Contribuição para recarga de aquífero
Eficiência de remoção de DBO	3	3,25	2	1,25	2,75	2,25	3	3,5	4	2,75	3
Eficiência de remoção de TSS	2,75	3	2	1,25	2,75	2,25	2,5	3,25	3,5	2,5	3,25
Vida útil de projeto	4	4	3	2	3	3,5	3,75	4,5	3,75	3,75	4
Impactos gerados por eventual falha	4,75	4,75	4	3	4,5	4,25	5	5	5	4,5	4,75
Melhoria do desempenho do piscinão do bananal	3,25	3,25	3	1,5	3	2,75	3,75	3,75	4	3,75	3,75
Redução dos danos de inundações	3,75	3,75	2,5	1,75	3,25	3	4	4,25	4	4	4,75
Uso múltiplo	3	3,5	2,25	1	2,25	2	3	3	3	2,75	3
Complexidade técnica	2,5	2,75	1,5	1	2,25	1,75	3	3	2,25	2,75	3,25
Disponibilidade de parâmetros	2	2,5	2,25	1	2	2	3	3,75	3	2,25	3,25
Necessidade de pré-tratamento	3,25	3,5	2,25	1,5	2,25	2	3,25	3,25	3,75	3	3,5
Contribuição para recarga de aquífero	3	2,75	2	1,25	2,25	1,25	3	2,75	2,75	2,5	3

Tabela 42. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Social”).

SOCIAL	Melhoria dos índices de saúde pública	Melhoria dos índices de qualidade de vida	Geração de empregos	Melhoria da infraestrutura urbana	Contenção da mancha de expansão urbana
Melhoria dos índices de saúde pública	3	3,25	3,75	2,25	2
Melhoria dos índices de qualidade de vida	2,75	3	3	2	2
Geração de empregos	2,25	3	3	1,25	1,25
Melhoria da infraestrutura urbana	3,75	4	4,75	3	3,25
Contenção da mancha de expansão urbana	4	4	4,75	2,75	3

Tabela 43. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Político”).

POLÍTICO	Dificuldade de implantação	Visibilidade política	Questões jurídicas
Dificuldade de implantação	3	2	2,5
Visibilidade política	4	3	3,75
Complexidade jurídica	3,5	2,25	3

**Tabela 44. Matriz de pesos relativos dos subcritérios (critério “Estético”).**

ESTÉTICO	Impacto paisagístico
Impacto paisagístico	3

A partir das matrizes de subcritérios foi possível calcular o peso relativo de cada um dos subcritérios calculando a média dos valores existentes nas linhas. Dessa forma, encontrou-se uma nota relativa para cada subcritério. Em seguida, normalizou-se esta média para valores entre 0 a 1.

**Tabela 45. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Ambiental”).**

Subcritério	Média da linha	Peso relativo
Renaturalização	2,2	0,15
Proteção de fauna e flora	2,9	0,19
Recuperação de áreas degradadas	3,45	0,23
Proteção de APP	3,15	0,21
Melhoria de qualidade das águas do córrego	3,3	0,22
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>1</b>

**Tabela 46. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Econômico/Financeiro”).**

Subcritério	Média da linha	Peso relativo
Custo de implantação	2,75	0,46
Custo anual de manutenção	3,25	0,54
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>1</b>

**Tabela 47. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Técnico”).**

<b>Subcritério</b>	<b>Média da linha</b>	<b>Peso relativo</b>
Eficiência de remoção de DBO	2,65	0,08
Eficiência de remoção de TSS	2,5	0,08
Vida útil de projeto	3,46	0,11
Impactos gerados por eventual falha	4,44	0,14
Melhoria do desempenho do piscinão do bananal	3,19	0,10
Redução dos danos de inundações	3,44	0,11
Uso múltiplo	2,52	0,08
Complexidade técnica	2,29	0,07
Disponibilidade de parâmetros	2,38	0,07
Necessidade de pré-tratamento	2,75	0,09
Contribuição para recarga de aquífero subterrâneo	2,31	0,07
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>1</b>

**Tabela 48. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Social”).**

<b>Subcritério</b>	<b>Média da linha</b>	<b>Peso relativo</b>
Melhoria dos índices de saúde pública da região	2,85	0,19
Melhoria dos índices de qualidade de vida	2,55	0,17
Geração de empregos	2,15	0,14
Melhoria da infraestrutura urbana	3,75	0,25
Contenção da mancha de expansão urbana	3,7	0,25
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>1</b>

**Tabela 49. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Político”).**

<b>Subcritério</b>	<b>Média da linha</b>	<b>Peso relativo</b>
Dificuldade de implantação	2,50	0,28
Visibilidade política	3,58	0,40
Complexidade jurídica	2,92	0,32
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>1</b>

**Tabela 50. Pesos relativos dos subcritérios (critério “Estético”).**

<b>Subcritério</b>	<b>Média da linha</b>	<b>Peso relativo</b>
Impacto paisagístico	3	1
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

### **6.3 Valoração das BMPs**

Nesta etapa os critérios foram avaliados usando as notas de referência constantes do item 6.1.

Tabela 51 - Valoração das BMPs

Critério	Descrição															
		Trincheira de Infiltração	Bacia de infiltração	Pavimento modular	Pavimento Poroso	Filtro de areia (de superfície)	Faixa de filtro gramada	Bacia de retenção (alagada)	Bacia de retenção estendida (seca)	Wetland	Canais Gramados	Educação Ambiental	Bacia de retenção comunitária	Limpeza de ruas	Coleta de lixo	Parque linear
Ambiental	Renaturalização	3	4	1	1	1	2	4	3	4	2	1	1	1	1	4
	Proteção de fauna e flora	3	4	1	1	1	2	4	3	4	2	1	1	1	1	4
	Recuperação de áreas degradadas	3	3	2	1	2	2	4	3	5	2	3	1	1	1	5
	Proteção de APP	1	2	1	1	1	1	2	1	3	1	1	1	1	1	5
	Melhoria de qualidade das águas do córrego	5	5	5	2	4	4	4	3	5	3	3	2	4	4	4
Econ./Fin.	Custo de implantação	5	5	4	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1
	Custo de manutenção anual	5	5	4	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3
Técnico	Eficiência - % de remoção de DBO	2	3	3	1	3	1	2	3	4	3	1	2	5	4	3
	Eficiência - % de remoção de TSS	3	5	3	5	3	1	3	2	3	1	1	1	4	5	3
	Vida útil de projeto	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	5	1	5	5	3
	Impactos gerados por eventual falha	3	1	4	5	5	5	2	3	1	5	2	2	4	4	5
	Melhoria do desempenho do piscinão do bananal	3	4	2	2	2	2	3	3	3	2	1	3	4	4	5
	Redução dos danos de inundações	3	4	2	2	2	1	3	3	3	2	4	3	4	4	5
	Uso múltiplo	2	3	2	2	1	1	5	5	5	1	2	2	1	1	3
	Complexidade técnica	5	5	3	3	3	5	2	2	1	5	1	3	4	2	1
	Disponibilidade de parâmetros	5	3	5	5	5	5	3	3	1	5	3	5	5	5	2
	Necessidade de pré-tratamento	1	1	5	1	1	5	1	1	1	5	5	5	5	5	5
	Colabora para recarga de aquífero subterrâneo?	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	1	1	1	5
Social	Melhoria dos índices de saúde pública da região	4	1	2	1	1	1	2	2	3	2	5	2	4	3	3
	Melhoria dos índices de qualidade de vida	3	2	2	1	1	1	2	2	2	1	5	1	1	1	3
	Geração de empregos	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	5	1	4	3	2
	Melhoria da infraestrutura urbana	3	3	4	4	2	2	2	2	2	3	1	1	3	4	5
	Contenção da mancha de expansão urbana	2	3	1	1	1	1	3	2	4	2	4	1	1	1	5
Pol.	Dificuldade de implantação	3	1	5	5	3	5	1	3	1	5	1	3	1	3	3
	Visibilidade política	3	1	1	1	1	3	3	5	3	3	2	1	3	3	5
	Complexidade jurídica	5	3	5	5	3	5	3	1	1	5	5	3	5	5	1
Est.	Impacto paisagístico	4	3	2	1	2	4	2	1	5	4	3	3	5	3	5

Avaliaram-se, então, as notas das BMPs relativas a cada critério, normalizando as notas de 0 a 1.

**Tabela 52. Avaliação das BMPs por critério.**

	Trincheira de Infiltração	Bacia de infiltração	Pavimento modular	Pavimento Poroso	Filtro de areia (de superfície)	Faixa de filtro gramada	Bacia de retenção (alagada)	Bacia de detenção estendida (seca)	Wetland	Canais Gramados	Educação Ambiental	Bacia de detenção comunitária	Limpeza de ruas	Coleta de lixo	Parque linear
Amb.	0,51	0,64	0,28	0,06	0,22	0,31	0,65	0,40	0,81	0,25	0,23	0,06	0,17	0,17	0,86
Econ./Fin.	1,00	1,00	0,75	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,27
Téc.	0,47	0,50	0,53	0,47	0,45	0,47	0,41	0,49	0,39	0,54	0,37	0,38	0,72	0,69	0,70
Soc.	0,41	0,29	0,28	0,19	0,06	0,06	0,28	0,21	0,42	0,23	0,69	0,05	0,38	0,35	0,71
Pol.	0,66	0,16	0,60	0,60	0,30	0,80	0,36	0,54	0,20	0,80	0,42	0,30	0,52	0,66	0,54
Estét.	0,75	0,50	0,25	0,00	0,25	0,75	0,25	0,00	1,00	0,75	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00

## 6.4 Grupos decisores

Formularam-se três grupos de decisores, cada um com interesses distintos:

- G1: Gestores públicos (responsáveis por tomadas de decisão, seja em escala local, regional ou nacional);
- G2: Corpo técnico (responsáveis pela formulação executiva e implementação de medidas estruturais e não-estruturais);
- G3: Comunidade local (pessoas cujas vidas e cotidianos serão diretamente afetados por implementação de políticas públicas).

Foram entrevistados membros do poder público (subprefeitura) que nortearam a atribuição de pesos do grupo G1. Os pesos atribuídos para o G2, corpo técnico, foram dados considerando as inúmeras conversas tidas com diversos profissionais ao logo da produção deste trabalho. Também se entrevistaram líderes comunitários do Jardim Damasceno (região impactada pelo reservatório do Bananal) cujas respostas balizaram a atribuição de pesos do G3, comunidade local.

Cada um dos critérios recebeu um peso, variando entre 1 e 5, por cada grupo decisor. Usando estes pesos, classificaram-se as alternativas.

#### 6.4.1 G1 – Gestores públicos

Para o gestor público, o impacto político é o que mais influencia sua tomada de decisão, pois envolve consequências eleitorais que afetarão diretamente sua aprovação e sua carreira. Na sequência o que mais lhe importa são os aspectos financeiros, sociais e estéticos - o primeiro é fundamental para a viabilidade de execução, o segundo terá impacto em índices de desenvolvimento humano (IDH) da região e o terceiro também gera impacto indireto no IDH além de contar com bastante visibilidade. Por fim, os aspectos técnicos e ambientais em geral têm menor visibilidade e geralmente apresentam menor relevância na tomada de decisão.

**Tabela 53. Pesos atribuídos aos critérios pelo grupo G1 (gestores públicos).**

<b>Ambiental</b>	<b>Econômico/Financeiro</b>	<b>Técnico</b>	<b>Social</b>	<b>Político</b>	<b>Estético</b>
3	4	3	4	5	4

#### 6.4.2 G2 – Corpo técnico

Para o corpo técnico, os aspectos técnicos, econômicos e financeiros são os que mais importam, pois traduzem a viabilidade de execução adequada das medidas planejadas. Aspectos ambientais e sociais também são relevantes, pois indicam impactos positivos diretos e indiretos em outros setores específicos, podendo ser indicadores de sucesso ou insucesso da implementação de ações. Por fim, aspectos estéticos e políticos são os menos valorizados por este grupo, pois são mais subjetivos e que contam com menor quantidade e confiabilidade de indicadores.

**Tabela 54. Pesos atribuídos aos critérios pelo grupo G2 (corpo técnico).**

<b>Ambiental</b>	<b>Econômico/Financeiro</b>	<b>Técnico</b>	<b>Social</b>	<b>Político</b>	<b>Estético</b>
4	5	5	4	2	3

### 6.4.3 G3 – Comunidade local

Para a comunidade local, os aspectos sociais e estéticos são os mais relevantes, pois afetam diretamente a qualidade de vida dos moradores, sua percepção do ambiente e autoestima. Na sequência, aspectos ambientais têm também bastante relevância, já que afetam a qualidade de vida dos moradores de hoje e das futuras gerações. Os aspectos técnicos e econômicos são os de menor importância visto que a comunidade entende que ao pagar seus impostos já viabiliza financeiramente as benfeitorias e o corpo técnico responsável por seu projeto e implantação. O aspecto político também é pouco relevante, dado que pouco norteia as demandas da comunidade, embora seja uma das formas de resposta de satisfação ou insatisfação com a situação atual.

**Tabela 55. Pesos atribuídos aos critérios pelo grupo G3 (comunidade local).**

Ambiental	Econômico/Financeiro	Técnico	Social	Político	Estético
4	2	2	5	2	5

### 6.5 Classificação das BMPs por grupos decisores

Criaram-se então listas de classificação das alternativas para cada um dos grupos de decisores.

**Tabela 56. Classificação das BMPs segundo grupo G1 (gestores públicos).**

	Alternativa	Média		Alternativa	Média
1	Parque linear	0,6647	9	Bacia de infiltração	0,4954
2	Trincheira de Infiltração	0,6476	10	Bacia de retenção (alagada)	0,4809
3	Limpeza de ruas	0,6428	11	Pavimento modular	0,4578
4	Canais Gramados	0,6220	12	Bacia de detenção estendida (seca)	0,4440
5	Wetland	0,6202	13	Bacia de detenção comunitária	0,3906
6	Faixa de filtro gramada	0,5903	14	Filtro de areia (de superfície)	0,3818
7	Coleta de lixo	0,5776	15	Pavimento Poroso	0,2755
8	Educação Ambiental	0,5498			

**Tabela 57. Classificação segundo grupo G2 (corpo técnico).**

	<b>Alternativa</b>	<b>Média</b>		<b>Alternativa</b>	<b>Média</b>
<b>1</b>	Limpeza de ruas	0,5908	<b>9</b>	Pavimento modular	0,4315
<b>2</b>	Coleta de lixo	0,5589	<b>10</b>	Bacia de retenção estendida (seca)	0,4214
<b>3</b>	Trincheira de Infiltração	0,5467	<b>11</b>	Bacia de infiltração	0,4171
<b>4</b>	Canais Gramados	0,5458	<b>12</b>	Bacia de retenção (alagada)	0,4066
<b>5</b>	Parque linear	0,5338	<b>13</b>	Bacia de retenção comunitária	0,3616
<b>6</b>	Educação Ambiental	0,5204	<b>14</b>	Filtro de areia (de superfície)	0,3601
<b>7</b>	Faixa de filtro gramada	0,4935	<b>15</b>	Pavimento Poroso	0,2912
<b>8</b>	Wetland	0,4708			

**Tabela 58. Classificação segundo grupo G3 (comunidade local).**

	<b>Alternativa</b>	<b>Média</b>		<b>Alternativa</b>	<b>Média</b>
<b>1</b>	Parque linear	0,5143	<b>9</b>	Bacia de infiltração	0,2699
<b>2</b>	Limpeza de ruas	0,4847	<b>10</b>	Pavimento modular	0,2556
<b>3</b>	Canais Gramados	0,3982	<b>11</b>	Bacia de retenção comunitária	0,2348
<b>4</b>	Trincheira de Infiltração	0,3893	<b>12</b>	Bacia de retenção (alagada)	0,2073
<b>5</b>	Wetland	0,3891	<b>13</b>	Filtro de areia (de superfície)	0,1895
<b>6</b>	Faixa de filtro gramada	0,3672	<b>14</b>	Bacia de retenção estendida (seca)	0,1741
<b>7</b>	Coleta de lixo	0,3641	<b>15</b>	Pavimento Poroso	0,1731
<b>8</b>	Educação Ambiental	0,3095			

## 7 ESCOLHA E ESPECIFICAÇÃO DA SOLUÇÃO

### 7.1 Justificativa

Na escolha das alternativas a serem implementadas, estudaram-se as listas de classificações dos grupos de decisores e foram avaliadas as alternativas presentes nas cinco melhores classificadas por cada grupo.

Nota-se que as alternativas de parque linear, faixa de filtro gramado e trincheira de infiltração são as únicas medidas estruturais presentes no topo de todas as listas. Estas foram, portanto, as alternativas escolhidas para dimensionamento, conforme a Tabela 59.

**Tabela 59. BMPs melhor classificadas segundo cada grupo decisor.**

<b>Posição</b>	<b>Gestores Públicos</b>	<b>Corpo Técnico</b>	<b>Comunidade Local</b>
<b>1</b>	Parque linear	Limpeza de ruas	Parque linear
<b>2</b>	Trincheira de Infiltração	Coleta de lixo	Limpeza de ruas
<b>3</b>	Limpeza de ruas	Trincheira de Infiltração	Canais Gramados
<b>4</b>	Canais Gramados	Canais Gramados	Trincheira de Infiltração
<b>5</b>	Wetland	Parque linear	Wetland

Foi feito também o estudo da posição média das alternativas (Tabela 60), em que se pode notar que as medidas não estruturais “coleta de lixo” e “limpeza de ruas” encontram-se entre as melhores classificadas, unindo-se às três alternativas previamente escolhidas para dimensionamento. Além disso, essas medidas não estruturais promovem vantagens ao sistema local e regional e são fundamentais para o bom funcionamento das medidas estruturais, prologam sua vida útil e acrescem qualidade de vida à população local.

Tabela 60. Posição média nas listas G1, G2 e G3.

	Alternativa	Posição Média		Alternativa	Posição Média
1	Limpeza de ruas	2,00	9	Bacia de infiltração	9,67
2	Parque linear	2,33	10	Pavimento modular	10,00
3	Trincheira de Infiltração	3,00	11	Bacia de retenção (alagada)	11,33
4	Canais Gramados	3,67	12	Bacia de retenção estendida (seca)	12,00
5	Coleta de lixo	5,33	13	Bacia de retenção comunitária	12,33
6	Wetland	6,00	14	Filtro de areia (de superfície)	13,67
7	Faixa de filtro gramada	6,33	15	Pavimento Poroso	15,00
8	Educação Ambiental	7,33			

## 7.2 Concepção

Foi concebida uma solução que integrasse as alternativas eleitas pela análise de decisão multicritério. Todas as medidas serão centradas na construção de um parque linear ao longo do córrego do Bananal, desde as imediações do córrego do Corumbé até o reservatório do Bananal. Trincheiras de infiltração serão utilizadas em avenidas de maior porte, enquanto que canais gramados serão implantados nas demais ruas, formando uma rede verde de retenção (aumento do tempo de concentração, acúmulo de volumes de água) e drenagem com benefícios também à qualidade da água.

## 7.3 Dimensionamento

### 7.3.1 Trincheiras de infiltração

#### Considerações iniciais

As trincheiras de infiltração são soluções de microdrenagem. Esse tipo de detalhamento, no entanto, está fora do escopo do presente trabalho. O que será feito a seguir será a busca por um indicativo da densidade de trincheiras de infiltração necessárias para a totalidade da área de contribuição de cada uma das sub-bacias.

### Determinação da profundidade

A primeira etapa necessária ao dimensionamento de uma trincheira de infiltração é a determinação de sua profundidade, com a condição de que sua cota de fundo não atinja o lençol freático (que deve ter profundidade mínima de 1,20). Caso contrário, a trincheira permaneceria perenemente inundada. Esta última condição é verificada, pois o lençol freático na região da Brasilândia encontra-se a 1,50 m da superfície (BARROS, 2005).

A profundidade da trincheira pode ser determinada pela Equação (5), onde:

$$d_{\text{máx}} = \frac{f \cdot T_s}{n_{\text{brita}}} = 1,20 \text{ m} \quad (5)$$

- $d_{\text{máx}}$ : profundidade máxima da trincheira de infiltração (m);
- $f$ : taxa de infiltração no fim de projeto (20 mm/h, segundo NCRS, 2008);
- $T_s$ : tempo de drenagem (entre 24h e 48h, arbitrado em 24h);
- $n_{\text{brita}}$ : porosidade da brita (0,4, segundo TOMAZ, 2006).

Com isso obteve-se uma profundidade de trincheira de 1,20 m, adequada ao nível freático da região.

### Avaliação da precipitação pelo Método Racional

O Método Racional permite a obtenção da vazão devida ao escoamento superficial direto em uma determinada bacia hidrográfica de pequeno porte por meio da Equação (15), onde:

$$Q = C \cdot i \cdot S \quad (6)$$

- $Q$ : vazão devida ao escoamento superficial direto ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $C$ : coeficiente de uso e ocupação do solo da bacia (adotado como 0,7);
- $i$ : intensidade de precipitação (mm/h);
- $S$ : área de contribuição ( $\text{m}^2$ );
- As unidades devem ser compatíveis.

Estimou-se a intensidade de precipitação para um período de retorno de 10 anos pela curva IDF propostas por P. S. Wilken e revisada por Nelson Pinto, vide a Equação (2), obtendo-se uma intensidade de **2,46 mm/h**.

### Volume precipitado

Considerou-se que o evento de precipitação durasse 360 min (6 horas). Com isso, pode-se transformar a vazão calculada pelo Método Racional em um volume total precipitado “ $V_w$ ”.

### Área necessária de trincheira em planta

A área necessária de trincheira de infiltração, em planta, pode ser determinada segundo a Equação (7), onde:

$$A_t = \frac{V_w}{n_{\text{brita}} \cdot d_{\text{máx}} + f \cdot T_{\text{ench}}} \quad (7)$$

- $A_t$ : área necessária de trincheira de infiltração
- $T_{\text{ench}}$ : tempo de enchimento da trincheira ( $\leq 2h$ , arbitrado 2h).

Os resultados do dimensionamento das trincheiras de infiltração para as cinco sub-bacias constituintes da bacia do Bananal podem ser conferidos na Tabela 61.

**Tabela 61. Dimensionamento das trincheiras de infiltração.**

Sub-bacia	$A_{\text{res}}$ (ha)	Q (m <sup>3</sup> /s)	$V_w$ (m <sup>3</sup> )	$A_t$ (m <sup>2</sup> )
1	8,19	0,003	66,56	128
2	106,1	0,04	862,22	1.658
3	334,5	0,13	2.718,30	5.227
4	209,2	0,08	1.700,05	3.269
5	119,5	0,04	971,11	1.868

A área de trincheira a ser ocupada em todas as sub-bacias de modo que tenham capacidade de captar todo o escoamento superficial no local é da ordem de 0,15% da área residencial existente.

### **7.3.2 Canais gramados**

#### Considerações iniciais

O escopo do presente trabalho não é detalhar a microdrenagem por canais gramados na bacia do córrego do Bananal. Em virtude disso, será realizado a seguir um pré-dimensionamento dessa solução buscando um índice de densidade de área dessa alternativa, de modo a se estimar seus benefícios em caráter global.

### Geometria do canal gramado

Por serem constituídos de grama e para que não necessitem de uma solução de estabilização geotécnica mais sofisticada (e onerosa), os canais gramados possuem em geral seções em talude, resultando em formatos trapezoidais ou triangulares.

Por questão de simplificação, os cálculos a serem efetuados considerarão sempre canais gramados de seção trapezoidal com talude 1:3, conforme expresso na Equação (8).

$$h = \frac{b}{3} \quad (8)$$

Com isso, podem ser extraídas as propriedades geométricas de interesse do canal: área molhada (Equação (9)) e perímetro molhado (Equação (10)).

$$\text{Área molhada} \quad A = b \cdot h = 12 \cdot b^2 \quad (9)$$

$$\text{Perímetro molhado} \quad P_m = b + 2 \cdot h = 8 \cdot b + 2 \cdot b \cdot \sqrt{18} \quad (10)$$

De posse dos valores recém-calculados, pode-se determinar o raio hidráulico da geometria proposta, conforme a Equação (11).

$$\text{Raio hidráulico} \quad R_h = \frac{A}{P_m} = 0,73 \cdot b \quad (11)$$

### Cálculo das vazões

As vazões em um canal sob a hipótese de regime permanente uniforme podem ser calculadas pela Equação de Manning (12), onde.

$$\text{Eq. de Manning} \quad Q = \frac{A}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot j^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

- n: coeficiente de rugosidade de Manning (adotado como 0,24 para grama sem roça, segundo TOMAZ, 2006);
- j: declividade do canal (m/m).

Foram adotados, por simplificação, os valores de declividade média de cada sub-bacia, como maneira de representar os diversos canais com diferentes declividades que nela ocorrerão (Tabela 8). Esses valores foram, no entanto, limitados a 4% (0,04

m/m), de modo a garantir o bom funcionamento do canal em termos de controle de velocidades e erosão (TOMAZ, 2006). Quando necessários, degraus terão de ser construídos para que se reduza a declividade.

Aplicando-se as Equações (9) e (11) à Equação (12), obtém-se uma reformulação da Equação de Manning mais bem aplicável à geometria proposta, conforme a Equação (13).

$$Q = \frac{1,94}{n} \cdot (b^8)^{\frac{1}{3}} \cdot j^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

### Comprimento dos canais

Adotou-se, por hipótese, que haverá canal gramado na maior parte das vias da sub-bacia. O comprimento total de vias de cada sub-bacia foi estimado com base em sua área (Tabela 6), densidade demográfica da região da Brasilândia (Tabela 1) e na densidade viária da cidade de São Paulo (Tabela 3). Os comprimentos totais de vias (que serão iguais aos de canais gramados) de cada sub-bacia são dados pela Tabela 62.

**Tabela 62. Comprimentos totais de vias urbanas em cada sub-bacia.**

Sub-bacia	L (m)
1	26.538
2	123.001
3	89.202
4	54.484
5	28.400

### Cálculo de área de canais gramados

Utilizando os valores de vazão decorrente do escoamento superficial direto obtidos pelo Método Racional para período de retorno de 10 anos (conforme Tabela 61) é possível obter a largura média do canal gramado de uma determinada sub-bacia. Essa largura, multiplicada pelo comprimento de canais gramados (Tabela 62) fornece uma área de canal gramado em planta. Os resultados são dados conforme a Tabela 63.

**Tabela 63. Dimensionamento dos canais gramados.**

Sub-bacia	b (m)	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	$\frac{A_c}{A_{res}}$ (%)
1	0,05	9.703	11,85
2	0,14	117.516	11,08
3	0,21	131.089	3,92
4	0,18	67.147	3,21
5	0,14	28.371	2,37

Os valores obtidos mostram que é necessária uma maior área de canais gramados do que de trincheiras de infiltração para poder receber todo o escoamento superficial da bacia. Esse resultado é coerente dado a maior eficiência que se espera das trincheiras.

As porcentagens de área ocupada por essa BMP nas sub-bacias 1 e 2 resultaram elevadas em decorrência da área residencial desses locais ser pequena. Resultados mais realistas são os das sub-bacias 3, 4 e 5.

### 7.3.3 Parque linear

O Parque Linear proposto seguirá o projeto elaborado pela subprefeitura da Freguesia/Brasilândia, que se encontra no Anexo A-1. Ele ocupará uma área de 0,42 km<sup>2</sup> e estender-se-á ao longo do curso do Rio Bananal, interligando o Reservatório de detenção do Bananal, o Parque Brasilândia, a Wetland Corumbé (sugerida) e a Serra da Cantareira, conforme a Figura 68.

Para a implementação desta medida seria necessário a desapropriação de aproximadamente 5.320 habitantes da região (tomando-se como dado preliminar a densidade populacional da Brasilândia, conforme a Tabela 1). Considerando-se uma família com quatro integrantes, será necessária a construção de 1.330 habitações populares.

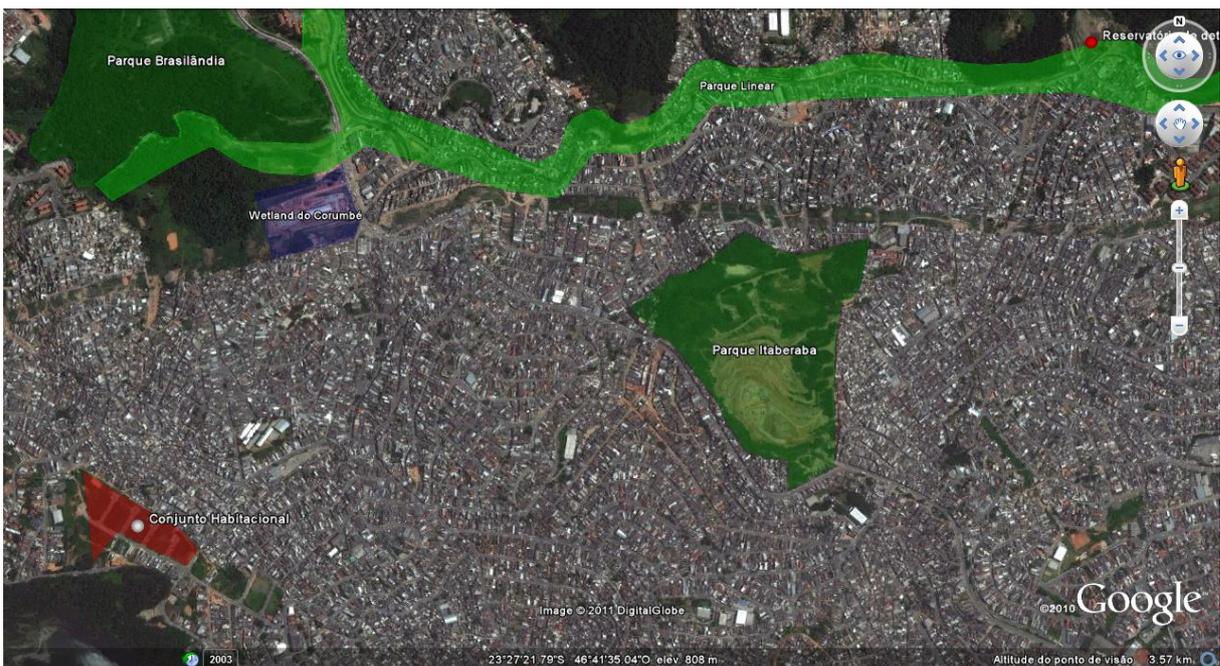
Tomando como base para projeto o Conjunto Habitacional Zaki Narchi (localizado na Av. Zaki Narchi, n.º 626, entre o Córrego do Carandiru e a Rua Antônio dos Santos Neto, bairro Carandiru) deverão ser construídos 67 edifícios de 5 pavimentos-tipo

com 4 unidades por pavimento, requerendo um terreno de 33.500 m<sup>2</sup> (ABIKO; PEREIRA, 1999).



**Figura 68. Localização do parque linear.**

O conjunto seria construído em um loteamento localizado ao sul do Parque Brasilândia (Figura 69). Os moradores reassentados serão deslocados entre 1 km e 3 km dos locais em que habitam atualmente.



**Figura 69. Localização do conjunto habitacional.**

### 7.3.4 Limpeza de ruas

Para o dimensionamento da equipe de garis utilizou-se o Cartilha de Limpeza Urbana (WEB-RESOL, 2011).

Nele é apresentado que o número de garis necessário é calculado segundo a Equação (14), onde:

$$N^{\circ} \text{ de garis} = \frac{L_v \cdot s \cdot f_v}{V_m} \cdot F1 \cdot F2 \quad (14)$$

- L: extensão viária da região (m);
- s: número de sarjetas por via (2 sarjetas);
- f: frequência de varrição (2 vezes por semana de 6 dias úteis);
- $V_m$ : velocidade média de varrição (1.440 metros/dia/gari);
- F1: fator de correção de heterogeneidade da distribuição de serviço (1,1);
- F2: fator de correção de flexibilidade do órgão de limpeza urbana para punir e até demitir funcionários faltosos, igual a 1,2.

O cálculo de L foi feito indiretamente supondo uma relação de 0,55 habitantes por metro de via (RIBEIRO, COELHO, 2011) e 176.893 habitantes, conforme a Equação (15).

$$L_v = \frac{176.893}{0,55} = 321.624 \text{ m} \quad (15)$$

Com isso, conclui-se que o número de garis deverá ser de 197.

### 7.3.5 Coleta de resíduos sólidos

Para o dimensionamento do serviço de coleta de resíduos sólidos serão realizadas algumas suposições:

- Geração de resíduos igual a 0,6 kg por habitante por dia;
- População de 176.893 habitantes;
- Capacidade de um caminhão basculante igual a 7 toneladas;
- 3 turnos de coleta;
- Recomendação de 1 motorista e guarnição de coleta de 3 pessoas para um caminhão basculante de 7 toneladas;

- Fator de correção correspondente à flexibilidade do órgão de limpeza urbana para punir e até demitir funcionários faltosos, igual a 1,2;
- Coleta realizada todos os dias.

O cálculo da quantidade total de resíduos sólidos gerada na região é dado pela Equação (16).

$$\text{Resíduos gerados} = 0,6 \cdot 176.893 = 106.135,8 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \quad (16)$$

Com isso, o cálculo da quantidade de caminhões necessários para realizar a coleta pode ser calculado pela Equação (17).

$$\text{N}^\circ \text{ caminhões} = \frac{\text{geração}}{\text{capacidade} \cdot \text{turnos}} = \frac{106.135,8}{7 \cdot 3} = 5 \quad (17)$$

Nota-se, então que será necessária a aquisição de 5 caminhões basculantes com capacidade de 7 toneladas para realizar a coleta diária.

O cálculo da equipe foi feito segundo as Equações (18) e (19).

$$\text{N}^\circ \text{ motoristas} = \text{n}^\circ \text{ caminhões} \cdot F2 \cdot \text{turnos} = 5 \cdot 1,2 \cdot 3 = 18 \text{ motoristas} \quad (18)$$

$$\text{N}^\circ \text{ pessoas na coleta} = 3 \cdot \text{n}^\circ \text{ caminhões} \cdot F2 \cdot \text{turnos} = 3 \cdot 5 \cdot 1,2 \cdot 3 = 54 \text{ pessoas} \quad (19)$$

Sendo assim, a equipe necessária será de 18 motoristas e 54 pessoas para coletarem o resíduo das ruas.

## 7.4 Estimativa de custo

### 7.4.1 Trincheiras de infiltração

Os custos de implantação de trincheiras de infiltração são bastante variáveis, visto que dependem do tipo de material utilizado e das suas dimensões. Mesmo assim, não chegam a ser muito significativos, ainda mais se for levado em conta a redução dos custos com o sistema de drenagem a jusante.

O custo estimado (FHWA, 2004 apud TOMAZ, 2006) para a trincheira em dólares pode ser estabelecido, em função do volume a ser detido, pela Equação (20).

$$\text{Custo} = 1.317 \cdot V_w^{0,63} \quad (20)$$

Uma outra composição de custos desenvolvidas especificamente para as condições brasileiras permite chegar ao valor médio de cerca de R\$ 68,00/m<sup>3</sup> para a implantação e R\$ 20,00/m<sup>3</sup> por ano para a manutenção (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

A Tabela 64 mostra uma comparação feita entre ambas metodologias.

**Tabela 64. Estimativa de custos de implantação e manutenção de trincheiras de infiltração.**

Sub Bacia	Volume (m <sup>3</sup> )	Implantação (R\$)		Manutenção (R\$/ano)	
		FHWA (2004) *	BAPTISTA (2005)	FHWA (2004) *	BAPTISTA (2005)
1	66,56	32.265,71	4.525,78	-	1.331,11
2	862,22	162.021,63	58.630,66	-	17.244,31
3	2718,30	333.996,47	184.844,06	-	54.365,90
4	1700,05	248.499,88	115.603,52	-	34.001,04
5	971,11	174.628,09	660.35,47	-	19.422,20
<b>Total</b>	<b>6318,23</b>	<b>951.411,77</b>	<b>429.639,49</b>	-	<b>126.364,56</b>

\*Conversão para reais utilizando valor do dólar de US\$ 1,74.

Observa-se que o custo estimado de implantação pelo método sugerido pela FHWA (Federal Highway Administration) é muito maior. Além disso, por ser um método desenvolvido para as condições norte-americanas e menos atualizado, adotar-se-ão os valores propostos por Baptista, Nascimento e Barraud (2005).

#### 7.4.2 Canais gramados

O custo de construção dos canais gramados é baixo. As obras constituem-se praticamente de terraplenagem e revestimento vegetal, sendo que a manutenção também possui um baixo custo por sua simplicidade. Os valores variam de R\$ 26,00 a R\$ 35,00 por m<sup>3</sup> de volume molhado para construção e R\$ 5,00 por m<sup>3</sup> de volume molhado para a manutenção anual.

Assim, adotando-se um valor de R\$ 30,00 para o custo de construção obtém-se um custo total de R\$ 3.082.501,00 de implantação e um custo de manutenção de R\$ 513.750,00 por ano, como demonstrado na Tabela 65.

**Tabela 65. Estimativa de custos de implantação e manutenção de canais gramados.**

<b>Sub Bacia</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo de construção</b>	<b>Custo de manutenção</b>
1	868,77	26.063,08	4.343,85
2	27.495,94	824.878,25	137.479,71
3	47.178,61	1.415.358,17	235.893,03
4	20.265,80	607.973,87	101.328,98
5	6.940,93	208.227,91	34.704,65
<b>Total</b>	<b>102.750,04</b>	<b>3.082.501,29</b>	<b>513.750,21</b>

#### **7.4.3 Parque linear**

De acordo com o projeto de implantação de parque linear nos Córregos Itararé, Pires e Charque Grande (BONDUKI; FERREIRA, 2006b), localizados na região da subprefeitura do Butantã, o custo, incluindo área de parque, ciclovia e calçadão, seria de R\$ 127,00/m<sup>2</sup>. Assim, podemos estimar o custo do parque linear no Córrego do Bananal como R\$ 53.334.000,00.

Tomando novamente como base o projeto do conjunto habitacional localizado na Avenida Zaki Narchi (ABIKO; PEREIRA, 1999), tem-se que o custo médio de uma unidade habitacional seria aproximadamente R\$ 25.000,00. Como seriam construídas 1.330 habitações, teríamos um gasto total de R\$ 33.250.000,00.

Dessa forma, temos que o custo total de implementação desta BMP estaria em torno de R\$ 86.600.000,00. Neste montante não estão inclusos custos de reurbanização das habitações que estariam localizadas ao redor do parque. Em estudos futuros, contudo, esse cálculo é altamente recomendado.

Quanto aos custos de manutenção anual, considera-se que sejam 30% do valor da implantação, ou seja, R\$ 16.000.200,00 por ano.

#### 7.4.4 Limpeza de ruas

Foram feitas as seguintes suposições para a estimativa de custos da limpeza de vias urbanas:

- Necessidade de contratar de 197 garis (conforme item 7.3.4);
- Salário médio de um gari de aproximadamente R\$856,00 por mês (SORANO, 2008);
- Custos mensais para o estado de um funcionário são 2,3 vezes maior do que o salário propriamente dito devido aos encargos sociais;
- Os funcionários recebem  $13 + \frac{1}{3}$  salários, que incluem os 12 salários anuais, décimo terceiro e adicional de férias;
- Um adicional de 20% dos custos deve ser considerado para compra de materiais (uniforme, EPI, pá, lixeira, vassoura, etc.).

Os custos podem ser calculados pela Equação (21).

$$\text{Custo anual} = 197 \cdot 856 \cdot 2,3 \cdot \left(13 + \frac{1}{3}\right) \cdot 1,2 = \text{R\$ } 6.205.657,60 \quad (21)$$

Sendo assim, notou-se que a manutenção desta alternativa custará, aproximadamente, R\$ 6.200.000,00 por ano. O custo de implantação dessa BMP foi considerado inexistente.

#### 7.4.5 Coleta de resíduos sólidos

As seguintes hipóteses foram efetuadas para a estimativa de custo do serviço de coleta de resíduos sólidos:

- Necessidade de contratar 18 motoristas e 54 pessoas para a guarnição de coleta (conforme item 7.3.5);
- Salário dos membros da guarnição de coleta igual a R\$1.400,00 mensais;
- Salário dos motoristas igual a R\$2.000,00 mensais (SORANO, 2008);
- Adicional de insalubridade de 20% para motoristas e equipe (AGÊNCIA TJAC, 2011);
- Custos mensais para o estado de um funcionário são 2,3 vezes maior do que o salário propriamente dito devido aos encargos sociais;

- Os funcionários recebem  $13 + \frac{1}{3}$  salários, que incluem os 12 salários anuais, décimo terceiro e adicional de férias;
- Um adicional de 10% dos custos deve ser considerado para compra de materiais (uniforme, EPI, etc.);
- O custo de um caminhão basculante de 7 toneladas é de aproximadamente R\$200.000,00 (DEAM-PR, 2007; PLOX, 2011);
- Custos de manutenção dos caminhões anuais de aproximadamente 30% dos custos de aquisição.

O cálculo do custo da equipe pode ser feito pela Equação (22).

$$\text{Custo anual} = (2.000 \cdot 6 + 1.400 \cdot 18) \cdot 1,2 \cdot \left(13 + \frac{1}{3}\right) \cdot 2,3 \cdot 1,1 = \text{R\$ } 4.517.568,00 \quad (22)$$

Os funcionários e seus equipamentos representam um custo aproximado de R\$4.500.00,00 por ano.

O custo de aquisição dos caminhões é calculado pela Equação (23).

$$\text{Custo de aquisição} = n^{\circ} \text{ caminhões} \cdot \text{custo do caminhão} = 5 \cdot 200.000 = \text{R\$ } 1.000.000,00 \quad (23)$$

O custo de aquisição dos caminhões é de aproximadamente R\$1.000.000,00.

A manutenção dos caminhões pode ser calculada pela Equação (24).

$$\text{Custo anual de manutenção} = \text{custo de aquisição} \cdot 0,3 = \text{R\$ } 300.000,00 \quad (24)$$

O custo anual de manutenção dos caminhões é de aproximadamente R\$300.000,00.

Sendo assim, o custo anual da manutenção desta alternativa será em torno de R\$ 4.800.000,00 e incluem salários e manutenção dos caminhões.

## 7.5 Aspectos econômico-financeiros para a implantação da solução

### 7.5.1 Custo total de implantação das BMPs

O custo de implantação de todas as medidas ficaria em torno de R\$ 91.112.140,78, enquanto que o custo de manutenção anual total seria de R\$ 27.640.314,77, conforme a Tabela 66.

**Tabela 66. Estimativa de custos para as BMPs a serem implantadas na bacia do Bananal.**

<b>BMP</b>	<b>Custo de implantação (R\$)</b>	<b>Custo de manutenção (R\$/ano)</b>
Trincheiras de infiltração	429.639,49	126.364,56
Canais gramados	3.082.501,29	513.750,21
Parque linear	86.600.000,00	16.000.200,00
Limpeza de ruas	-	6.200.000,00
Coleta de resíduos sólidos	1.000.000,00	4.800.000,00
<b>Total</b>	<b>91.112.140,78</b>	<b>27.640.314,77</b>

O custo de um reservatório de detenção convencional é de aproximadamente R\$ 35,00/m<sup>3</sup> (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005; CORSINI, 2011). Logo, o custo estimado para a implantação de um reservatório como o do Bananal, com capacidade de 0,45 hm<sup>3</sup> é de R\$ 15.750.000,00. O seu custo de manutenção anual pode ser estimado em 10% do valor de implantação (CORSINI, 2011), ou seja, R\$ 1.575.000,00. Tecendo uma comparação, os custos associados à implantação das BMPs são aproximadamente seis vezes o custo estimado do reservatório do Bananal, já existente.

Se o conjunto de intervenções das BMPs propostas pode ser considerado caro ou não, é algo para se avaliar à luz de outras informações como a possibilidade de implantação em fases, parcelamento dos investimentos, custos devidos às inundações que serão economizados por conta destas intervenções, ganho de qualidade de vida da comunidade, atratividade turística associada ao sucesso das medidas implantadas, sem contar também a disposição do poder público em fazer tal investimento – algo diretamente condicionado pela existência e disponibilidade de verbas públicas, analisadas a seguir.

### 7.5.2 Análise das contas públicas

Foram arrecadados R\$ 29,75 bilhões pela Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) em 2011 (Tabela 67), o que corresponde a pouco menos de 90% do previsto pelo próprio órgão e pouco mais de 85% previsto pela LOA, Lei Orçamentária Anual (SÃO PAULO, 2010).

**Tabela 67. Dados orçamentários gerais da Prefeitura Municipal de São Paulo.**

<b>Dado</b>	<b>Valor (mil R\$)</b>
Orçamento Previsto (LOA) para a PMSP - Ano Exercício 2011	34.612.445,957
Orçamento Previsto pela PMSP - Ano Exercício 2011	33.260.394,607
Arrecadação realizada pela PMSP - Ano Exercício 2011	29.751.317,577

Ainda com o olhar sobre o município paulistano como um todo, constata-se que a implantação de todas as medidas propostas pelo presente trabalho representa aproximadamente 0,3% da arrecadação da PMSP em 2011.

Na Tabela 68 é apresentado o Resumo da Execução da Receita Orçamentária da PMSP (SÃO PAULO, 2012), agrupado por subprefeituras, fundos, secretarias, encargos gerais do município e outros.

**Tabela 68. Macroagrupamento da receita da PMSP em 2011.**

<b>Destinação</b>	<b>Orçado (mil R\$)</b>	<b>Atualizado (mil R\$)</b>	<b>Empenhado (mil R\$)</b>	<b>Liquidado (mil R\$)</b>	<b>Liquidado/Orçado (%)</b>
Subprefeituras	1.161.796,751	1.095.034,732 (3%)	932.092,853 (3%)	825.337,650 (3%)	85
Fundos	2.335.331,151	2.525.579,521 (7%)	2.239.798,948 (7%)	2.004.738,732 (7%)	71
Secretarias	21.569.423,092	20.827.968,585 (58%)	18.075.467,732 (56%)	16.690.992,290 (55%)	86
Encargos gerais	5.650.276,977	6.149.173,264 (17%)	5.921.827,898 (18%)	5.880.573,286 (19%)	77
Outros	4.905.982,904	5.341.017,391 (15%)	5.061.259,867 (16%)	4.954.006,356 (16%)	104
<b>Total</b>	<b>35.622.810,875</b>	<b>35.938.773,493 (100%)</b>	<b>32.230.447,298 (100%)</b>	<b>30.355.648,314 (100%)</b>	<b>85</b>

Nela, observa-se que mesmo com arrecadação efetiva inferior à prevista (por esse motivo o orçamento atualizado é inferior ao inicialmente projetado) há segmentos da Prefeitura que contaram com aumento em seu orçamento: a categoria encargos gerais do município teve um acréscimo de 4% (ou quase 50 milhões).

A Tabela 69 exibe o orçamento da subprefeitura Freguesia/Brasilândia em 2011.

**Tabela 69. Orçamento anual atualizado (Dez/2011) da subprefeitura Freguesia/Brasilândia.**

Atividade	Orçamento (Atual. Dez/2011)		Liquidado (2011)		Não utilizado (2011)	
	Valor (mil R\$)	%	Valor (mil R\$)	%	Valor (mil R\$)	%
Administração dos Conselhos Tutelares	267,734	0,8	185,732	0,6	82,002	30,6
Atividades Culturais	32,500	0,1	0,000	0,0	32,500	100,0
Conservação de Imóveis da Subprefeitura	130,298	0,4	80,078	0,3	50,220	38,5
Administração Geral da Subprefeitura	13.554,559	43,0	11.054,960	35,1	2.499,599	18,4
Obras, reformas, intervenções urbanas	4.514,232	14,3	2.090,348	6,6	2.423,884	53,7
Limpeza e manutenção de galerias, canais e córregos	5.245,709	16,6	4.245,767	13,5	999,942	19,1
Conservação áreas verdes	3.471,601	11,0	2.359,998	7,5	1.111,603	32,0
Manutenção e limpeza de vias públicas	3.066,455	9,7	2.967,542	9,4	98,913	3,2
Manutenção de piscinões	1.230,000	3,9	779,162	2,5	450,838	36,7
<b>TOTAL</b>	<b>31.513,088</b>	<b>100</b>	<b>23.763,587</b>	<b>75,4</b>	<b>7.749,501</b>	<b>24,6</b>

Houve uma diferença de aproximadamente R\$ 7,75 milhões (quase 25%) entre o disponibilizado pelo orçamento de 2011 para a subprefeitura de Freguesia/Brasilândia e o que foi, de fato, liquidado (FREGUESIA/BRASILÂNDIA, 2011).

Esta diferença representa cerca de 8,5% do valor da proposta de implantação das BMPs. Observa-se também que, da verba rubricada e autorizada pelo orçamento (atualizado) para obras, reformas e intervenções urbanas, utilizou-se menos de 50%

do valor previsto - levando a crer que ou há "sobra" de verba ou há inabilidade de gestão.

Ademais, constata-se que a subprefeitura em questão acaba liquidando menos de seu orçamento (75%) do que o município de São Paulo, considerando todos seus órgãos, e do que a média das subprefeituras (ambos em torno de 85% de acordo com a Tabela 68).

Conclui-se, portanto, que há possibilidade pública viável de financiamento, considerando-se que a implantação pode ser feita em várias etapas, tornando possível o parcelamento do investimento; sem mencionar que o caráter multidisciplinar da solução proposta proporciona a diluição dos custos entre várias secretarias (como, por exemplo, Habitação, Infraestrutura e Meio Ambiente) e fundos municipais, além da própria subprefeitura envolvida.

Por fim, existem também linhas de financiamento e possibilidades de captação de verbas estaduais e federais (como no Ministério das Cidades).

## 7.6 Avaliação dos resultados

### 7.6.1 Consideração das BMPs na modelagem da bacia

A partir da determinação da área de ocupação das BMPs em cada sub-bacia pode-se efetuar uma nova modelagem no programa ABC6 com valores modificados de CN de modo a simular o aumento de permeabilidade do local devido à implantação dos canais gramados. Esses valores estão apresentados na Tabela 70.

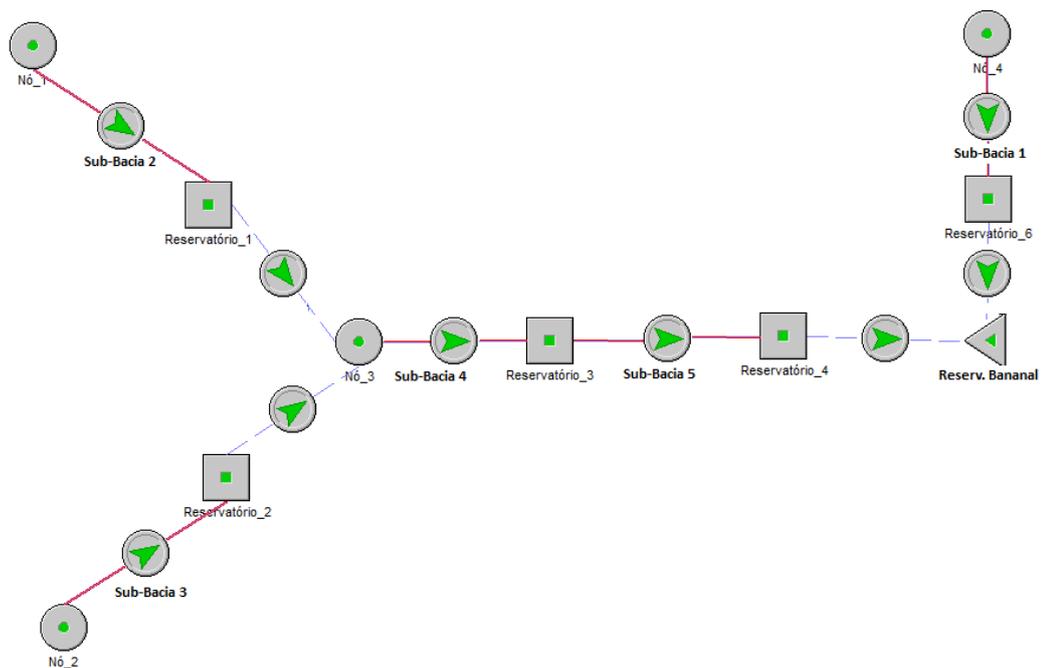
**Tabela 70. Valores de CN considerando a área ocupada pelas BMPs.**

Sub-bacia	Área total (ha)	CN médio inicial	Parque Linear (ha)	Canal Gramado (ha)	Residencial final (ha)	CN médio final
1	111,73	58	0	0,97	7,22	58
2	517,86	60	11,82	11,75	82,57	59
3	375,56	82	5,33	13,11	316,15	81
4	229,39	84	9,21	6,71	193,31	82
5	119,57	85	34,90	2,84	81,89	77

Adotou-se um valor de CN para as BMPs igual a 61, que representa espaços abertos, parques e jardins em boas condições, conforme classificação do SCS (Anexo B-3).

Como as trincheiras de infiltração e os canais gramados foram calculados utilizando-se um período de retorno de 10 anos, a comparação entre o cenário atual e o dos resultados obtidos com o uso das BMPs foi feita somente com períodos de retorno menores do que esse.

A Figura 70 demonstra a topologia de simulação, enquanto que os gráficos abaixo expressam a comparação dos Cenários 0, 1 e 2, simulados no item 4.2, com o Cenário considerando a implantação das BMPs (denominado “Cenário BMPs”). Para a simulação do efeito da implantação das trincheiras de infiltração foram considerados pequenos reservatórios em cada Sub-Bacia.



**Figura 70. Cenário BMPs: Topologia adotada para a Bacia do Bananal.**

### 7.6.2 Resultados para período de retorno de 10 anos

Os gráficos a seguir mostram os resultados obtidos para as simulações de período de retorno de 10 anos para os Cenários 0, 1, 2 e BMPs.

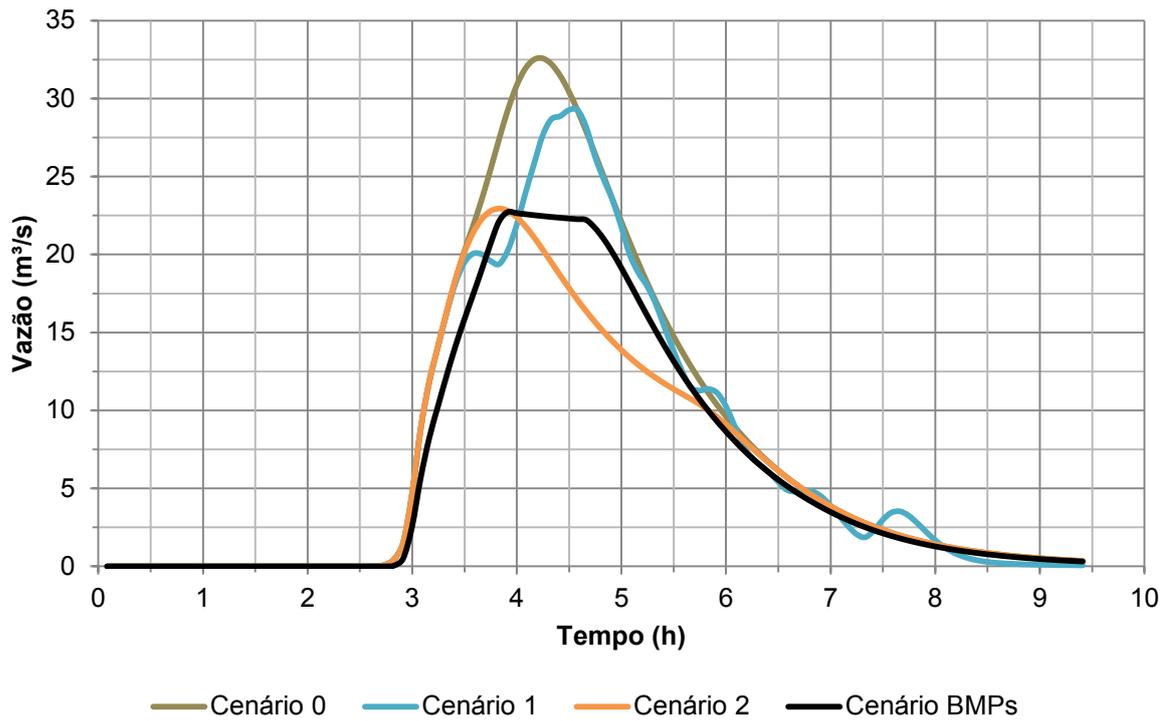


Figura 71. TR = 10 anos: Hidrogramas de montante no reservatório do Bananal.

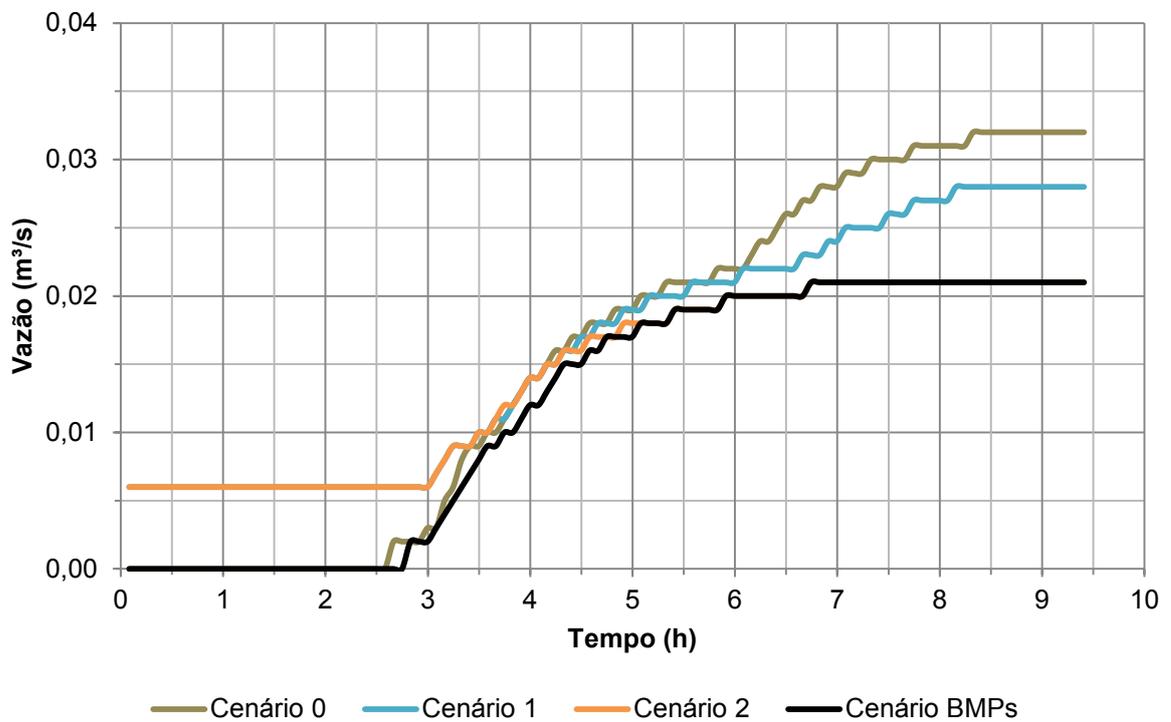


Figura 72. TR = 10 anos: Hidrogramas de jusante no reservatório do Bananal.

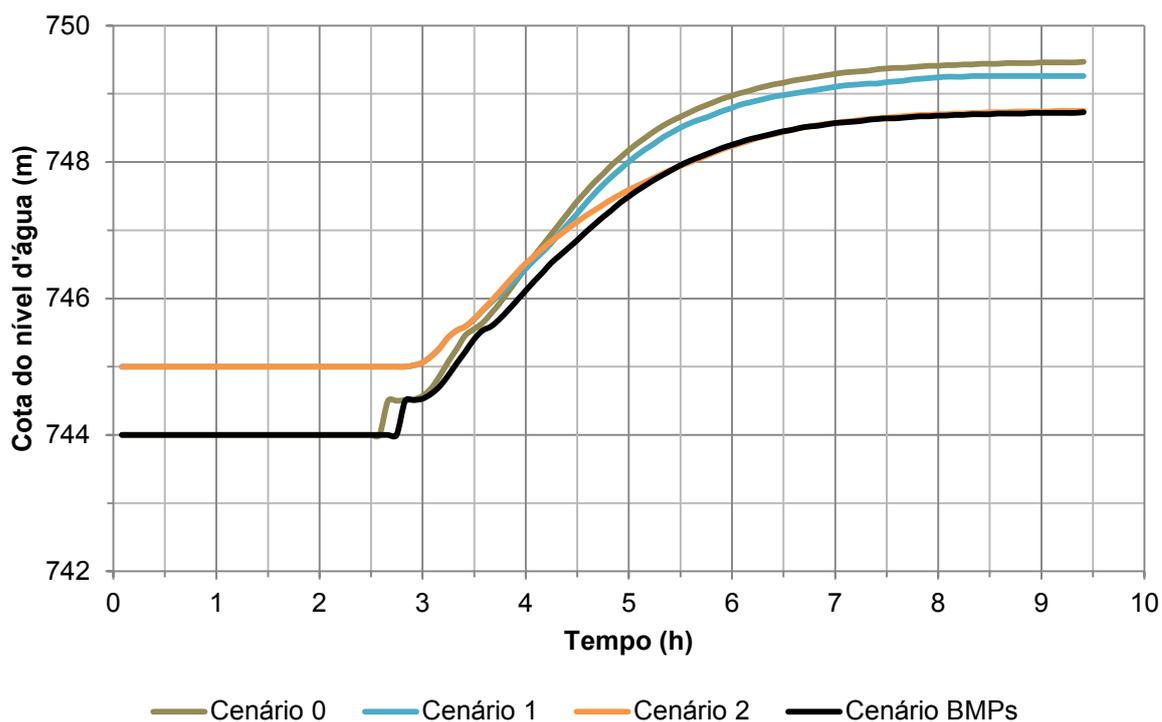


Figura 73. TR = 10 anos: Limnigramas no reservatório do Bananal.

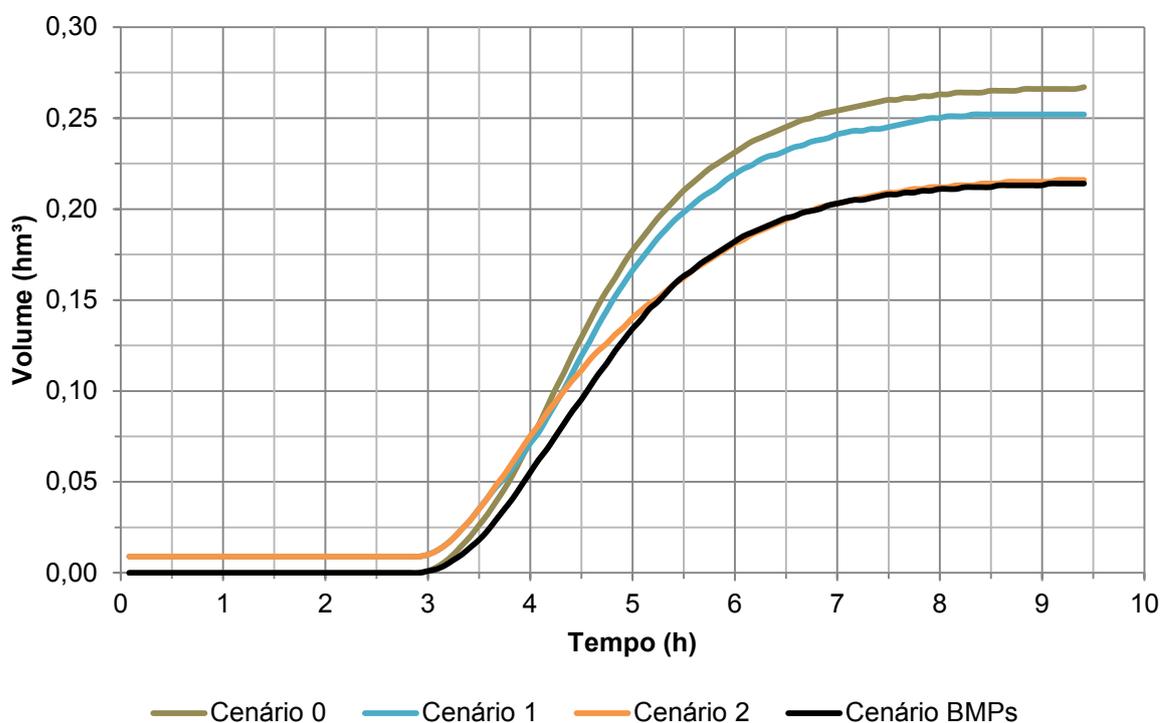


Figura 74. TR = 10 anos: Volumes armazenados no reservatório do Bananal.

### 7.6.3 Resultados para período de retorno de 5 anos

A seguir são exibidos os resultados para análise com período de retorno de 5 anos.

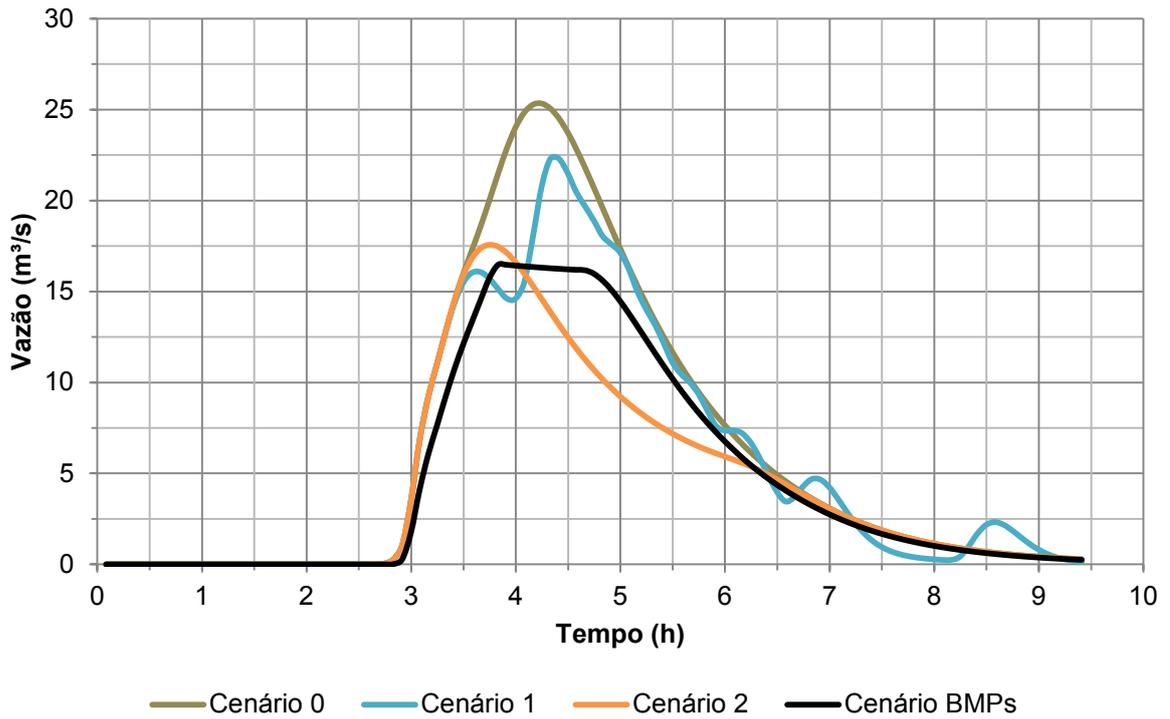


Figura 75. TR = 5 anos: Hidrogramas de montante no reservatório do Bananal.

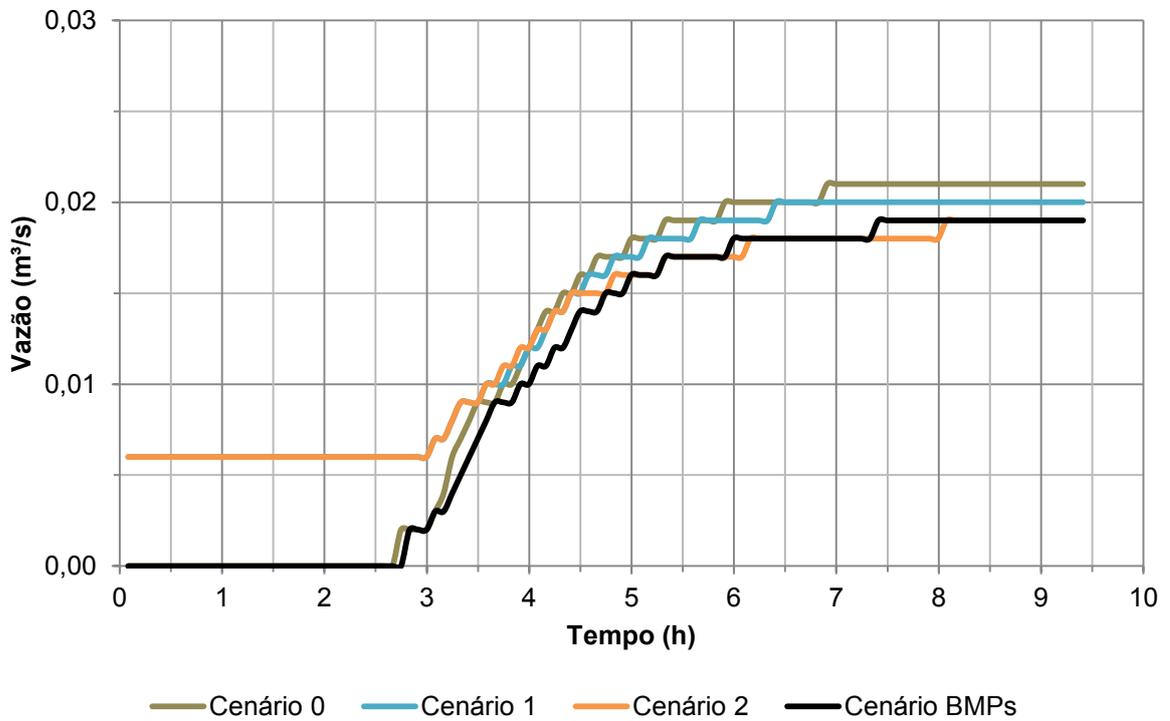


Figura 76. TR = 5 anos: Hidrogramas de jusante no reservatório do Bananal.

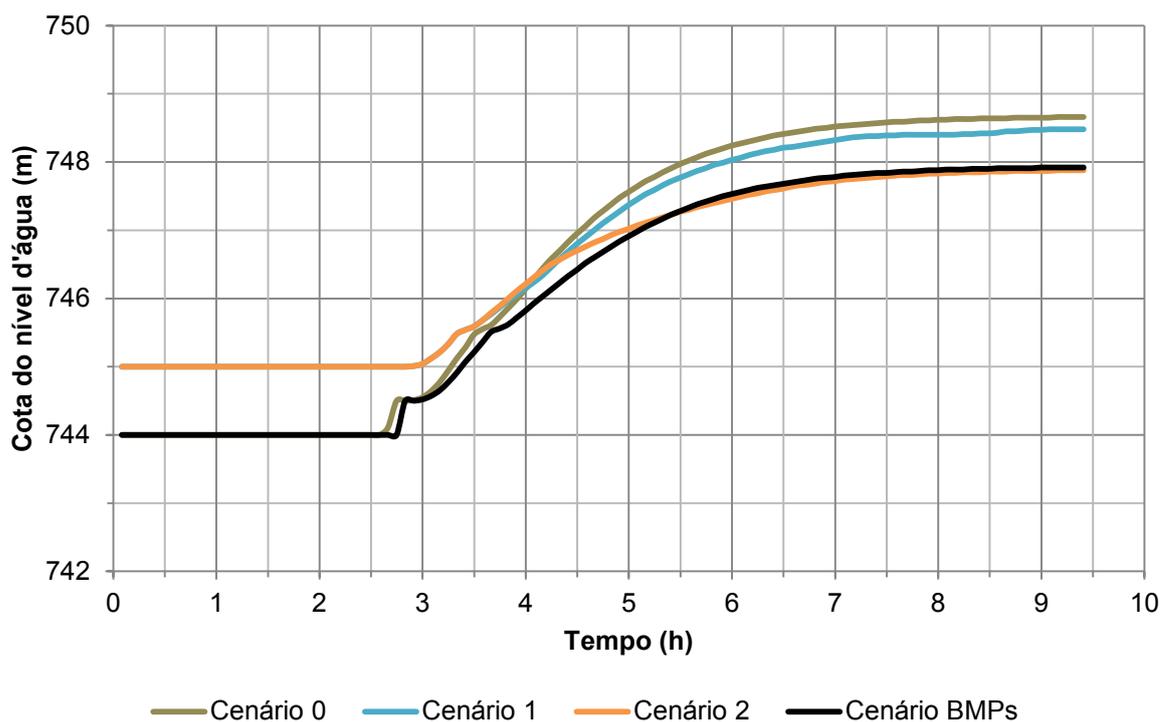


Figura 77. TR = 5 anos: Limnigramas no reservatório do Bananal.

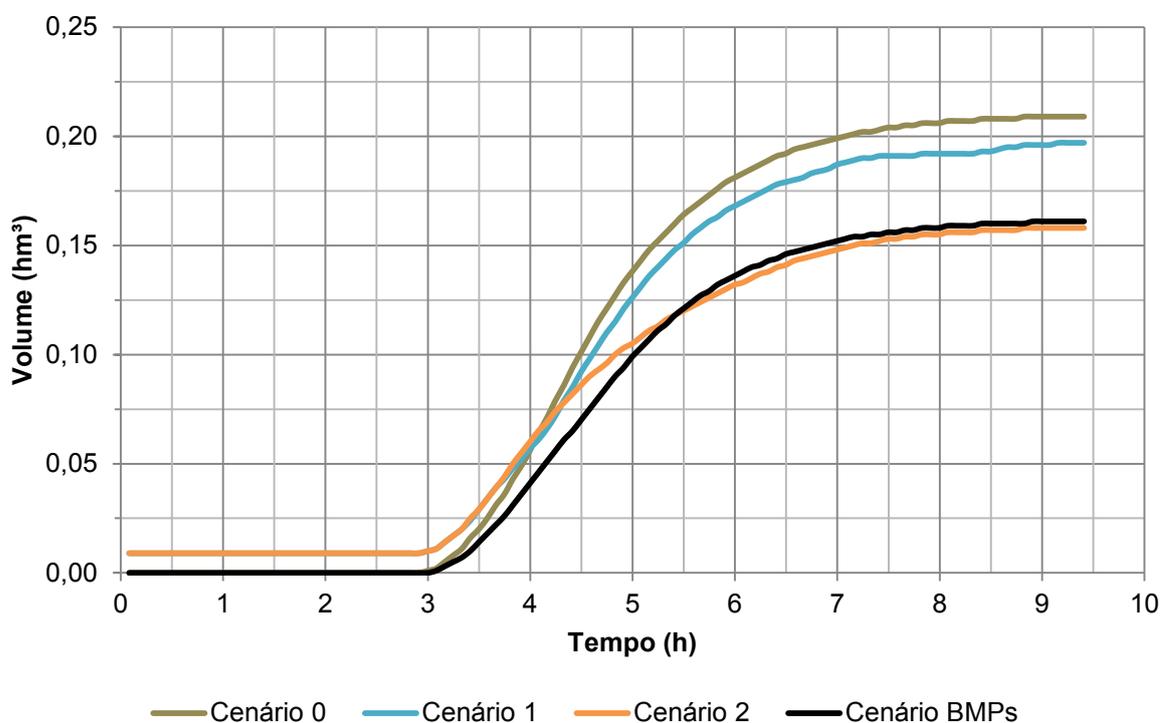
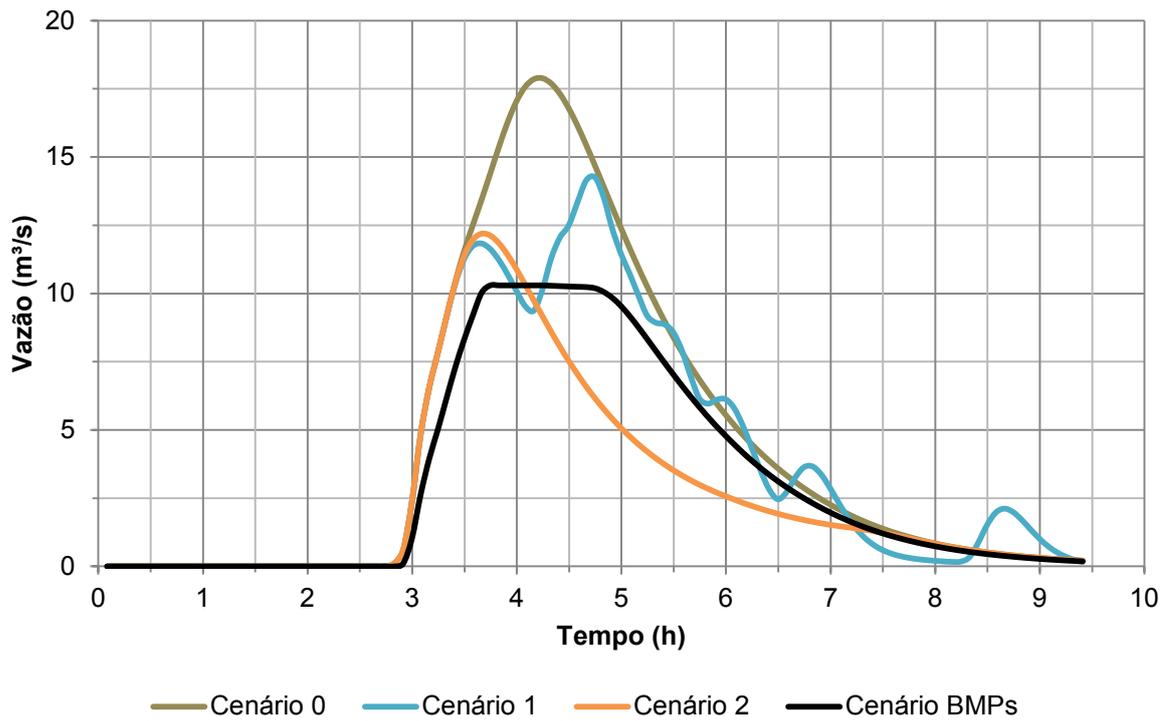


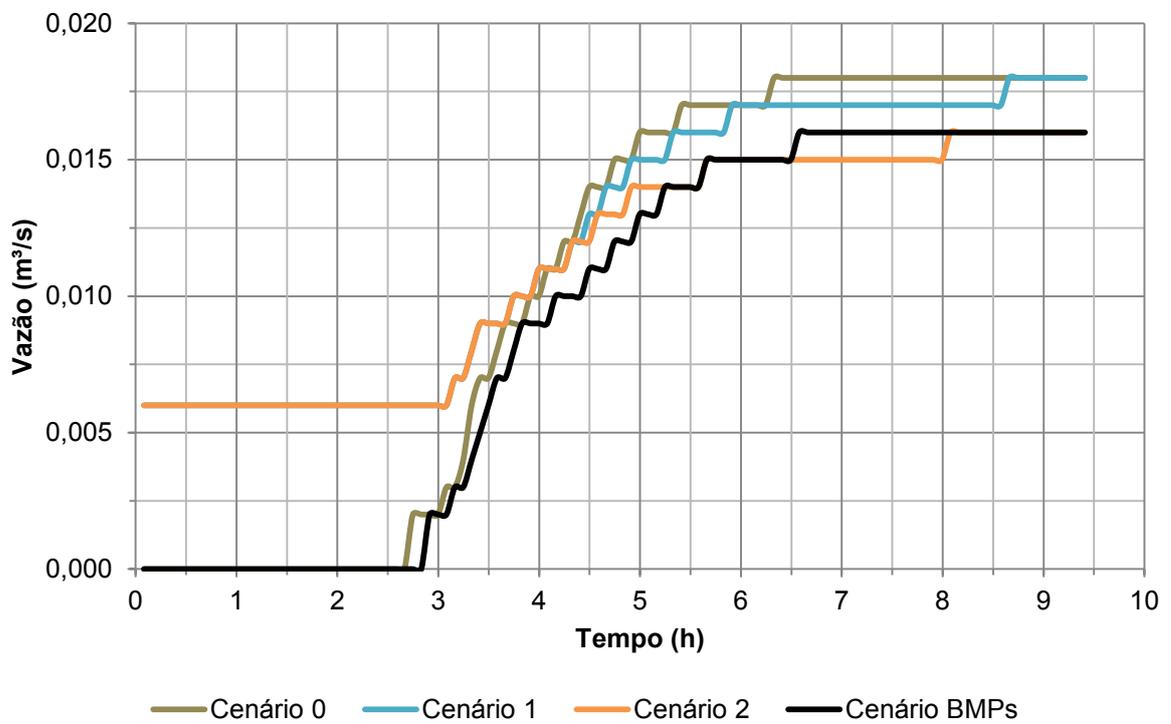
Figura 78. TR = 5 anos: Volumes armazenados no reservatório do Bananal.

#### 7.6.4 Resultados para período de retorno de 2 anos

Os gráficos a seguir referem-se à análise com período de retorno de 2 anos.



**Figura 79. TR = 2 anos: Hidrogramas de montante no reservatório do Bananal.**



**Figura 80. TR = 2 anos: Hidrogramas de jusante no reservatório do Bananal.**

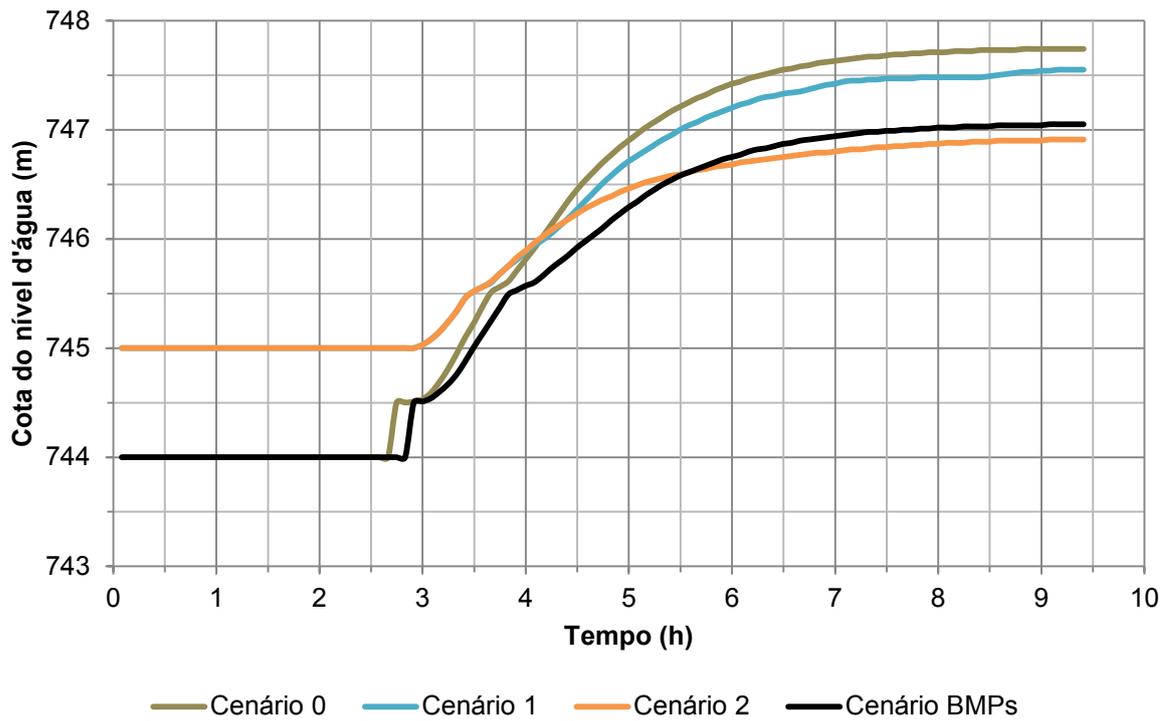


Figura 81. TR = 2 anos: Limnigramas no reservatório do Bananal.

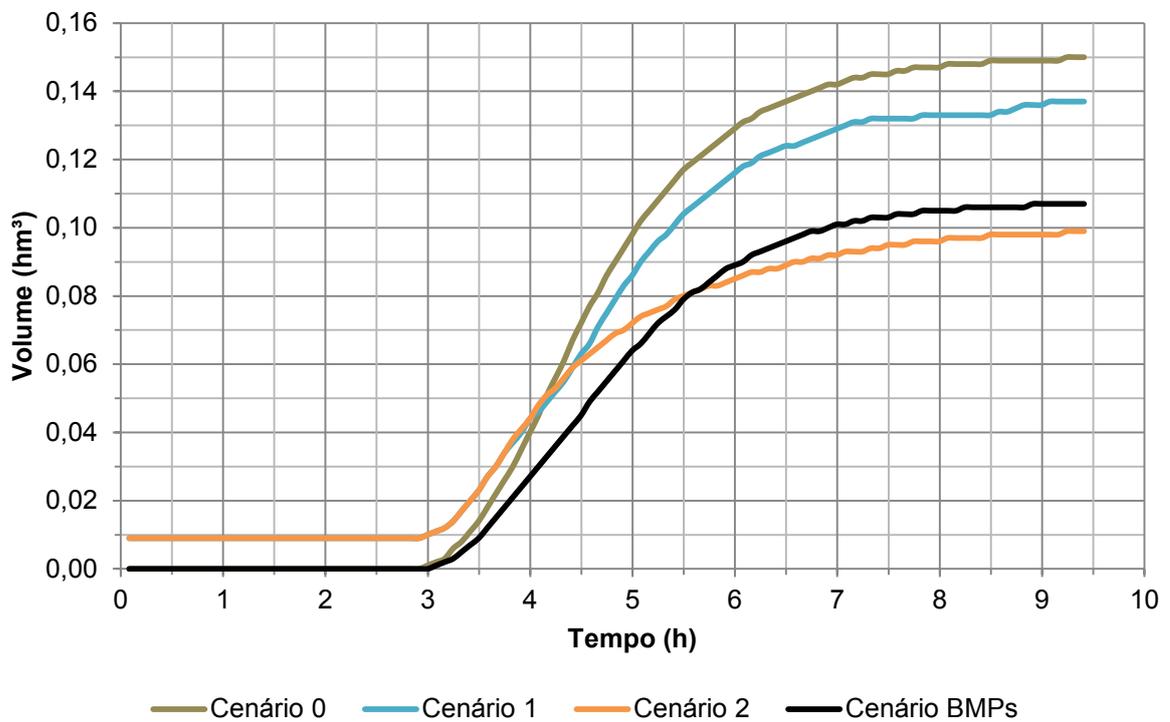


Figura 82. TR = 2 anos: Volumes armazenados no reservatório do Bananal.

### 7.6.5 Discussão dos resultados das análises

Os resultados obtidos por meio de simulação indicam que o desempenho do Cenário BMPs é semelhante ao do Cenário 2. Isso mostra que a implantação do conjunto exposto de medidas é tão eficaz quanto uma solução tradicional de macrodrenagem (neste caso, a implantação do reservatório de retenção do Corumbé). Nota-se uma relevante diminuição da acentuação do pico do hidrograma de jusante, ou seja, há um retardamento considerável no escoamento superficial da bacia, e uma diminuição de até 0,5 metro na cota máxima do nível d'água no reservatório para o período de retorno de 10 anos (e ainda mais nos outros períodos de retorno), conforme mostra a Figura 83.

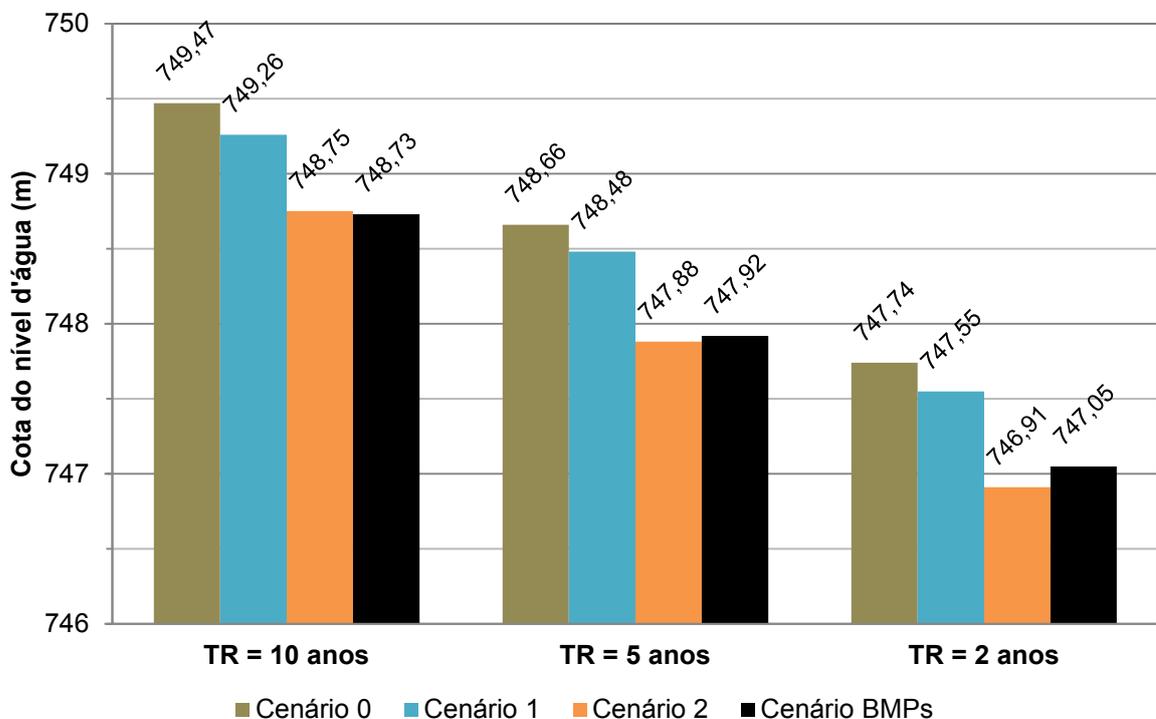


Figura 83. Comparação entre as máximas cotas do nível d'água atingidas nos diferentes cenários.

## **8 CONCLUSÃO**

Este trabalho teve por objetivo estudar e avaliar a possibilidade de implantação de uma série de medidas (as BMPs) para requalificação urbana dos arredores da bacia do córrego do Bananal. As medidas escolhidas foram dimensionadas de modo preliminar, sendo necessário no futuro um maior detalhamento das soluções.

### **8.1 Limitações dos resultados hidrológicos**

A principal limitação do presente estudo está na utilização do software ABC6. Apesar de ser de grande valia para a modelagem de Bacias Hidrográficas, ele possui limitações quanto à delimitação da real altura de inundação em regiões não pertencentes aos reservatórios. Para minimizar este problema é recomendável a utilização de softwares de modelagem hidráulica como o CLiv (desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica) em estudos futuros. Ademais, as simulações considerando o reservatório de detenção no córrego do Corumbé devem ser reavaliadas, já que os dados sobre o reservatório eram oriundos apenas de um pré-dimensionamento, sendo que não pôde ser feita a calibração do modelo devido à inexistência de dados de medição de vazões na bacia hidrográfica e no reservatório do Bananal.

Ainda referindo-se ao software ABC6, é possível afirmar que a avaliação feita no item 7.6 possui diversas limitações. Afinal, a simplificação feita – transformar a área equivalente da ocupação das BMPs e áreas de parques para se diminuir o valor do CN médio de cada sub-bacia – não levou em consideração a capacidade de armazenamento de águas pluviais pelos canais gramados, mas sim, apenas uma capacidade maior de infiltração.

No dimensionamento das trincheiras e valas, não se consideraram a desapropriação de imóveis nem a modificação do sistema viário da região, efetuando-se os cálculos de uma maneira simplificada, estimando-se áreas e volumes de drenagem para toda a sub-bacia, ao invés de se dividir os lotes e calcular a sua contribuição individual para cada trecho de canal ou trincheira, como é a prática usual de um projeto de microdrenagem.

Uma última limitação encontra-se na variabilidade do desempenho das BMPs. Elas estão sujeitas às condições ambientais e sociais do local de implantação e por isso seria recomendável efetuar a aferição de campo e monitoramento dos canais e trincheiras, em especial. Essas aferições seriam muito importantes também para a obtenção de melhores parâmetros de projeto, que poderiam ser utilizados em implantações futuras.

## **8.2 Limitações da Análise de Decisão Multicritério**

As notas atribuídas às alternativas na etapa de valoração da ADMC são extremamente subjetivas, apesar de algumas delas possuírem faixas e classificações quantitativas. Isso se deve ao fato de cada alternativa possuir um leque grande de operação e requerer projetos específicos para determinar reais valores de operação.

Os valores adotados no presente trabalho foram escolhidos conforme índices presentes nas referências citadas ao longo deste trabalho bem como indicações dos professores Renato Carlos Zambon, Kamel Zahed Filho e Ronan Cleber Contrera, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Outro ponto questionável e que pode gerar grandes distorções é a atribuição de pesos relativos aos subcritérios, que foi feita com base na percepção de cada membro do presente trabalho. Diferentes corpos técnicos podem julgar os subcritérios de formas diferentes e, conseqüentemente, gerar resultados diferentes.

Existe, também, forte influência nos pesos dos critérios atribuídos pelos grupos de decisores. Os valores utilizados neste trabalho foram adotados pelos próprios membros do grupo, supondo-se os interesses de cada decisor. Os pesos atribuídos, porém, podem ser bastante diferentes segundo a agenda política de cada grupo decisor. Este efeito, no entanto, não deve ter sido de extrema relevância, visto que todos os grupos decisores apontaram para grupos próximos de melhores alternativas.

Vale mencionar que para o critério Técnico foram escolhidos muitos subcritérios, fazendo assim que cada um deles muito pouco influenciasse o resultado final. Não é

interessante que se tenha muitos subcritérios também por tornar-se difícil o julgamento de suas importâncias relativas.

### **8.3 Comentários finais**

O modelo ADMC mostrou sua legitimidade na escolha das medidas, por apresentar resultados semelhantes independentemente do tipo de grupo decisor.

É espantoso notar que nenhuma das medidas comumente utilizadas nos planos de drenagem urbana, como reservatórios de detenção e retenção, obteve uma boa classificação. Em termos de eficácia estas medidas têm a vantagem de armazenar grandes quantidades de água por um custo muito baixo. Urbanisticamente, no entanto, tais alternativas podem desencadear um processo de degradação da região em que estão inseridas, como foi verificado em campo durante visita ao reservatório de detenção do Bananal.

Através da análise de decisão multicritério obtiveram-se medidas que são eficazes tanto no combate às inundações como na integração da comunidade com o meio em que vivem, através da melhoria da qualidade dos espaços públicos e de vida.

Com a implantação das medidas, espera-se uma significativa melhoria da qualidade da água do Córrego do Bananal em termos de quantidade de resíduos sólidos jogados no córrego, de sólidos em suspensão, DBO e oxigênio dissolvido. Esses reflexos serão sentidos no sistema de saúde pública, pela diminuição da ocorrência de doenças de veiculação hídrica. Acredita-se também que deva ocorrer o aumento de atividades de lazer e conseqüentemente do crescimento do comércio da área, principalmente aos finais de semana, e a valorização imobiliária das residências. Em última instância anseia-se pela conscientização dos moradores sobre a importância de um ambiente urbano com paisagens harmônicas e com qualidade ambiental e, se possível, sua cooperação cidadã em sua manutenção e preservação. Recomenda-se o monitoramento de indicadores de todos esses fatores, de modo a observar se o desempenho esperado das BMPs projetadas se verifica na prática e também para subsidiar futuros projetos que enveredem para esse conjunto de alternativas.

Por fim, durante a realização do projeto de concepção das medidas pôde ser percebida a importância do adequado planejamento urbano (e da integração de

planos nas áreas de água, esgoto, drenagem e coleta de resíduos sólidos urbanos), pois além da aplicação de medidas estruturais e não estruturais tornar-se mais eficaz, talvez muitos dos problemas atualmente existentes na bacia sequer teriam sido gerados.

## 9 REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K.; PEREIRA, P. M. S. **Conjuntos habitacionais em São Paulo: o projeto Cingapura**. São Paulo: EPUSP, 1999. Texto Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/12.

AGÊNCIA TJAC. **Justiça decide que motorista de caminhão de lixo deve receber adicional de insalubridade**. Rio Branco, 17 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.tjac.jus.br/noticias/noticia.jsp?texto=12092>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

AQUASTOCK. **O aproveitamento dá água de chuva das 'Piscininhas'**. São Paulo, 2003. 2 p. Disponível em: <[http://www.aquastock.com.br/download/Reservatorio de Retencao.pdf](http://www.aquastock.com.br/download/Reservatorio_de_Retencao.pdf)>. Acessado em: 14 nov. 2011.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana**. 1ª Edição. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BARROS, M. T. L. (Coord.). **Plano de bacia urbana**: relatório final. São Paulo: EPUSP/CTHIDRO/FINEP/FUSP, 2005.

BONDUKI, N.; FERREIRA, J. S. W. (Coord.). **Pesquisa e análise de aplicação de instrumentos em planejamento urbano ambiental no município de São Paulo**: Relatório 2 – Instrumentos legais necessários à implantação de parques lineares. São Paulo: Laboratório de Habitação e Assentamentos Humanos (FAUUSP), 2006a. Disponível em: <[http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab/biblioteca/produtos/pesquisa\\_analise\\_instrumentos-parqueslineares.pdf](http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab/biblioteca/produtos/pesquisa_analise_instrumentos-parqueslineares.pdf)>. Acessado em: 14 nov. 2011.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa e análise de aplicação de instrumentos em planejamento urbano ambiental no município de São Paulo**: Estudo de viabilidade de Parques. São Paulo: Laboratório de Habitação e Assentamentos Humanos (FAUUSP), 2006b.

Disponível em:

<[http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab/biblioteca/produtos/pesquisa\\_analise\\_viab\\_parques02.pdf](http://www.usp.br/fau/deprojeto/labhab/biblioteca/produtos/pesquisa_analise_viab_parques02.pdf)>. Acessado em: 14 nov. 2011.

BRASIL. Lei nº 9.795, 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Lex**: Brasília, 1999. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9795.htm)>. Acessado em: 14 nov. 2011.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.985, 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Lex**: Brasília, 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm)>. Acessado em: 14 nov. 2011.

U.S. Department of Interior BUREAU OF LAND MANAGEMENT. Washington. What are Best Management Practices (BMPs)? Disponível em: <[http://www.blm.gov/wo/st/en/prog/energy/oil\\_and\\_gas/best\\_management\\_practices.html](http://www.blm.gov/wo/st/en/prog/energy/oil_and_gas/best_management_practices.html)>. Acessado em: 14 nov. 2011.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

COPELAND, C. **Clean Water Act**: A Summary of the Law. Washington: Congressional Research Service, 2010. Disponível em: <<http://www.cnire.org/nle/crsreports/10May/RL30030.pdf>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

CORSINI, R. Piscinões para controle de cheias: dimensionamento, projeto, custos e manutenção de reservatórios de contenção de enchentes em espaços públicos. **Infraestrutura Urbana**, São Paulo, 20 jun. 2011. Disponível em: <<http://www.infraestruturaurbana.com.br/solucoes-tecnicas/4/piscinoes-para-controle-de-cheias-220142-1.asp>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

Departamento Estadual de Administração de Material do Paraná (DEAM-PR). **Máquinas pesadas e caminhões**. Curitiba: DEAM, 2007. Disponível em: <<http://celepar7cta.pr.gov.br/deam/noticias.nsf/766b062e7dca965103256a1d0048bf1e/09cf3495a32cb8a68325729600613ed7?OpenDocument>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA (EUA). Clean Water Act, Pub.L. 95-217, Sections 208 (b), (i) and (j), 27 de dezembro de 1977. **Lex**: Washington, 1977.

\_\_\_\_\_. Water Quality Act, Pub.L. 100-4, CWA sec. 319(a),(b),(h),(l), & (m), 4 de fevereiro de 1987. **Lex**: Washington, 1987.

Subprefeitura da FREGUESIA/BRASILÂNDIA. **Execução Orçamentária**. Coordenação das Subprefeituras. 2011. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/freguesia\\_brasilandia/execucao\\_orcamentaria/index.php?p=25997](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/freguesia_brasilandia/execucao_orcamentaria/index.php?p=25997)>. Acessado em: 18 jan. 2012.

FREITAS, I. T. W.; MENDES, J. C.; MIRANDA, G. S. B.; MAZZUCHELLI, P. M.; GARCIA, P. H. **Impermeabilização dos Solos Urbanos**: Problemas e Soluções. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011.

HINO, A. A. F. **Associação entre atividade física de lazer e de transporte com o ambiente construído em adultos residentes da cidade de Curitiba**. 2010. 123 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Educação Física, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MASUKO, C. T. S.; ANRAKU, C. T.; BÜLL, E. S. **Aplicação de “wetland” construída na bacia do córrego Corumbé**. 2010. 77 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Brasília, 2011. Disponível em:

<<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=89>>. Acessado em: 18 jan. 2012.

USDA Natural Resources Conservation Service (NCRS). **Infiltration**. 2008. Soil Quality Indicators. Disponível em:

<[http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/infiltration\\_sq\\_physical\\_indicator\\_sheet.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/infiltration_sq_physical_indicator_sheet.pdf)>. Acessado em: 14 nov. 2011.

PLOX. **Prefeitura de Paraíso adquire [sic] caminhão compactador de lixo**. Santana do Paraíso: PLOX, 04 fev. 2011. Disponível em: <<http://www.plox.com.br/caderno/meio-ambiente/prefeitura-paraíso-adquiri-caminhao-compactador-lixo>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

Agência de notícias da PREFEITURA DE CURITIBA. **Curitiba terá parque linear que vai cruzar 25 bairros**. Curitiba, 20 jun. 2011. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/curitiba-tera-parque-linear-que-vai-cruzar-25-bairros/23300>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

REDE NOSSA SÃO PAULO. **Observatório Cidadão**: Indicadores. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.nossasaopaulo.org.br/observatorio/>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

REPÓRTER DIÁRIO. **Pedras e plantas vão filtrar água de piscinão**. Santo André, 12 nov. 2007. Disponível em: <<http://www.reporterdiario.com.br/Noticia/11147/pedras-e-plantas-vaio-filtrar-agua-de-piscinao>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

RIBEIRO, R. J. C.; COELHO, J. M. Índices de qualidade configuracional urbana. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DA ANPUR, 2011, Rio de Janeiro. **Anais do XIV Encontro Nacional da ANPUR**. Rio de Janeiro: ANPUR, 2011.

Secretaria Municipal de Planejamento Urbano de São Paulo (SEMPULA). **Plano Regional Estratégico da Subprefeitura Freguesia/Brasilândia**. São Paulo, 2004.

SÃO PAULO. Lei nº 444/10, 2010. Estima a receita e fica a despesa do Município de São Paulo para o exercício de 2011. **Lex**: São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/planejamento/LOA%202011%20PL%20444-10.pdf>>. Acessado em: 18 jan. 2012.

SÃO PAULO. **Estimativas Populacionais**. Coordenação de Epidemiologia e Informação. 2011. Disponível em: <<http://ww2.prefeitura.sp.gov.br/cgi/deftohtm.exe?secretarias/saude/TABNET/POP/pop.def>>. Acessado em: 18 jan. 2012.

SÃO PAULO. **Execução de despesas por órgão**. Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão: Exercício 2011. 2012. Disponível em: <[http://deolhonascontas.prefeitura.sp.gov.br/priv/receita\\_despesa/execucao\\_de\\_despesas.aspx](http://deolhonascontas.prefeitura.sp.gov.br/priv/receita_despesa/execucao_de_despesas.aspx)>. Acessado em: 18 jan. 2012.

SORANO, V. Salário de motorista é menor no SAMU que na coleta de lixo. **Jornal da Tarde**, São Paulo, 23 ago. 2008. Disponível em: <<http://www.jt.com.br/editorias/2008/08/23/ger-1.94.4.20080823.1.1.xml>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

SOUZA, V.C.B.; GOLDENFUM, J.A. Trincheiras de infiltração como elementos de controle do escoamento superficial: um estudo experimental. In: **Avaliação e controle do escoamento superficial**. Porto Alegre: ABRH, 2001, v. 2, p. 391-401.

SOUZA, V. C. B. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. 2002. 127 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TOMAZ, P. **Poluição Difusa**. São Paulo: Navegar Editora, 2006.

\_\_\_\_\_. **Pavimento poroso**. São Paulo, 2009. Curso de manejo de águas pluviais.

Disponível em:

<[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo60\\_pavimento\\_poroso.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo60_pavimento_poroso.pdf)>.

Acesso em 14 nov. 2011.

\_\_\_\_\_. **Pavimento modular**. São Paulo, 2010. Curso de manejo de águas pluviais.

Disponível em:

<[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo15\\_pavimento.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo15_pavimento.pdf)>. Acessado

em 14 nov. 2011.

United Nations Environmental Program (UNEP). **Wetlands and Flooded Areas: Water on Perpetually-Saturated Soil**. Kusatsu: UNEP, 2001. The Watershed: Water from the Mountains into the Sea – v.2: Lakes and Reservoirs. Disponível em:

<[http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Short\\_Series/LakeReservoirs-2/8.asp](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Short_Series/LakeReservoirs-2/8.asp)>.

Acessado em: 14 nov. 2011.

WEB-RESOL. **Limpeza de logradouros**. 2011. Cartilha de limpeza urbana.

Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha/limpeza.php>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

ZVEIBIL, V. Z. (Coord.). **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em:

<<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acessado em: 14 nov. 2011.

## ANEXOS

### A. Plano Regional Estratégico da Subprefeitura Freguesia/Brasilândia

Nome	Anexo
Mapa 01: Rede estrutural hídrica ambiental	A-1
Mapa 02: Sistema viário estrutural	A-2
Mapa 03: Rede estrutural de transporte público	A-3
Mapa 04: Uso e ocupação do solo	A-4
Mapa 05: Desenvolvimento urbano	A-5

### B. Determinação do *Curve Number* (CN) segundo o NRCS/SCS.

Nome	Anexo
Classificação dos solos segundo o NRCS/SCS	B-1
<i>Curve Number</i> (CN) para áreas rurais	B-2
<i>Curve Number</i> (CN) para áreas urbanas	B-3

### C. Dados do talvegue

Nome	Anexo
Sub-bacia 1: Dados do talvegue	C-1
Sub-bacia 2: Dados do talvegue	C-2
Sub-bacia 3: Dados do talvegue	C-3
Sub-bacia 4: Dados do talvegue	C-4
Sub-bacia 5: Dados do talvegue	C-5

### D. Manchas de inundação

Nome	Anexo
Manchas de inundação: Cenário 0 (Estado Atual)	D-1
Manchas de inundação: Cenário 1 (Implantação do reservatório do Corumbé <i>in-line</i> )	D-2
Manchas de inundação: Cenário 2 (Implantação do reservatório do Corumbé <i>off-line</i> )	D-3

### E. Atribuição de pesos relativos para a Análise de Decisão Multicritério

Nome	Anexo
Atribuição de pesos relativos: Membro 1	E-1
Atribuição de pesos relativos: Membro 2	E-2
Atribuição de pesos relativos: Membro 3	E-3
Atribuição de pesos relativos: Membro 4	E-4