

ALFREDO AKIRA OHNUMA JÚNIOR

**Medidas não convencionais de reservação d'água para o controle da
poluição hídrica em lotes domiciliares**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências da Engenharia
Ambiental

Área de concentração: Recursos Hídricos
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo

São Carlos-SP

2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de
Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca -
EESC/USP

GO38m Ohnuma Júnior, Alfredo Akira
Medidas não-convencionais de reservação d'água para o controle da poluição hídrica em lotes domiciliares / Alfredo Akira Ohnuma Júnior ; orientador Eduardo Mario Mendiondo. -- São Carlos, 2008.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

1. Medidas não convencionais ou compensatórias. 2. Reservação de água. 3. Monitoramento hidrológico. 4. Águas urbanas. 5. Lote domiciliar ou fonte geradora. I. Título.

Dedico este trabalho a toda minha família, especialmente a meus pais, Alfredo Akira Ohnuma e Maria Inês Aoki Ohnuma, irmãos, Daniel Kamekichi Ohnuma e Gustavo Isami Ohnuma e sobrinho Pedro Guimarães Ohnuma. Uma dedicação especial à minha querida e iluminada avó Mitue Ide Aoki, por toda sua demonstração de paciência e amor. Ofereço este trabalho como parte de minha evolução e jornada espiritual.

AGRADECIMENTOS

Para todas as pessoas que fizeram e ainda fazem parte do Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas da EESC/USP, pois foram elas que me ajudaram e incentivaram a desenvolver este trabalho.

Ao professor E. Mario Menciondo, pela orientação deste trabalho, amizade e inúmeras conversas que me inspiraram a tratar as alternativas de uso da água com praticidade e pesquisa.

Aos colegas Paulino de Almeida Neto e Pedro Fernando Caballero Campos, que estiveram presentes, principalmente na reformulação do LAEG, na execução do experimento e nas inúmeras conversas e discussões durante quase todo o desenvolvimento deste trabalho.

À colega Melissa Cristina Pereira Graciosa, pelo auxílio na execução do telhado verde e na elaboração do projeto executivo da trincheira de infiltração.

Aos colaboradores e colegas Ricardo Camilo Galavoti e Juliana Pontes de Andrade, pela coleta dos dados e auxílio nas análises laboratoriais de qualidade do efluente sanitário.

Aos colegas e futuros mestres Ignazio Giuntoli, Flávia Bottino e Tatiane Furlaneto de Souza, que me auxiliaram na discussão deste trabalho.

Ao web designer do Departamento de Hidráulica e Saneamento, André Canale Garcia, pela enorme contribuição incluindo dados disponíveis no site MicroSistema de Alerta Ambiental e auxílio na transferência *upload* para o servidor.

Aos alunos de graduação em Engenharia Ambiental Juliana Taguti, Diogo Martino Almeida e Anaí Vasconcelos, pela colaboração nos dados de monitoramento das águas pluviais.

Aos professores doutores da EESC/USP Marcelo Zaiat, Rodrigo de Melo Porto e Francisco Vecchia, pelas contribuições sobre tratamento de água e hidrologia pertinentes para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor doutor da UFSCar Bernardo Arantes Teixeira de Nascimento pelas sugestões e contribuições na área de saneamento e qualidade da água.

Aos colegas do Departamento de Hidráulica e Saneamento e do Departamento do Curso de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, pelos inúmeros serviços administrativos e de apoio prestados na realização desta tese.

Ao pesquisador da Embrapa Prof. Dr. Antonio Pereira de Novaes pelas sugestões e apoio na execução da fossa séptica biodigestora instalada no lote.

A Erica Alvim pela revisão gramatical e ortográfica desta tese.

Ao CNPq pelo auxílio à pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

Aos grandes mestres espirituais que estiveram presentes de alguma forma ao longo desta jornada: Bhaktivedanta Swami Prabhupada, Jiddu Krishnamurti, Osho, Mooji, Paramahansa

Yogananda, Eckhart Tolle, Jasmuheen, Sri Nisargadatta Maharaj, Ramesh S. Balsekar, Sri Satya Narayan Goenka, Ramakrishna Paramahansa, Sua Santidade o 14^o Dalai Lama Tenzin Gyatso, Chagdud Tulku Rinpoche, Kalu Rinpoche, Thich Nhat Hanh, Mestra Liu, Mata Amritanandamayi Devi e Bellur Krishnamachar Sundararaja Iyengar.

Todas as pessoas que me apoiaram e acompanharam durante grande parte da realização deste trabalho, desde a parte experimental até a escrita final.

E, principalmente, aos proprietários do lote utilizado como base para a pesquisa, pela disposição, paciência, auxílio e colaboração, pois, graças a eles, Aqui Agora, posso escrever estes agradecimentos.

Namastê.

"Sempre que houver alternativas tenha cuidado. Não opte pelo conveniente, pelo confortável, pelo respeitável, pelo socialmente aceitável, pelo honroso. Opte pelo que faz o seu coração vibrar. Opte pelo que gostaria de fazer, apesar de todas as consequências."

Osho

Índice

Lista de figuras	i
Lista de tabelas	vi
Lista de siglas	viii
Lista de símbolos	x
Resumo	xiii
Abstract	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
3. REVISÃO DA LITERATURA	6
3.1. O movimento higienista ou sanitaria	6
3.2. O uso e a ocupação convencional do solo em lotes urbanos	7
3.3. Medidas não convencionais de controle do escoamento para lotes urbanos	10
3.3.1. Trincheira de infiltração	13
3.3.1.1. REM: método de dimensionamento da trincheira	17
3.3.1.1.1. Volume de armazenamento da trincheira	18
3.3.1.1.2. Volume precipitado	18
3.3.1.1.3. Volume infiltrado	20
3.3.1.1.4. Volume efetivo de armazenamento	23
3.3.1.2. Equação de Richards	26
3.3.2. Teto verde	27
3.3.2.1. História antiga dos tetos verdes	27
3.3.2.2. Estrutura e composição	28
3.3.2.3. A climatização ou o conforto térmico proporcionado pelos tetos verdes	31
3.3.2.4. A relação do escoamento superficial com os tetos verdes	33
3.3.2.5. Desenvolvimento de políticas públicas para telhados verdes	40
3.3.3. Microrreservatórios de retenção para lotes urbanos	41
3.3.4. Cisternas ou reservatórios de aproveitamento de água da chuva	46
3.3.4.1. A antiguidade das cisternas	46
3.3.4.2. Aplicação atual de captação de água de chuva em alguns países	48
3.3.4.3. Previsão de consumo de água não potável	50
3.3.4.4. Coeficiente de runoff	53
3.3.4.5. Mecanismos de geração do escoamento	54
3.3.4.6. Método de Rippl para dimensionamento dos reservatórios	56
3.3.4.7. Projeto básico e operação do sistema de aproveitamento de águas pluviais	58
3.3.4.8. Requisitos legais para o aproveitamento das águas pluviais	60
3.3.5. Reúso de águas	61
3.3.5.1. Padrões de qualidade da água para reúso	63
3.3.5.2. Águas cinzas nas edificações	66
3.3.5.3. Reúso de água na agricultura	66
3.3.5.4. Biodigestor séptico modelo Embrapa	67
3.3.6. Pavimentos permeáveis e poços de infiltração	69
3.4. A importância do monitoramento das medidas não convencionais	71
3.5. Efeitos combinados das medidas compensatórias	73
3.6. Limitações do uso das medidas não convencionais	74
3.7. Previsão antecipada de chuvas para sistemas de drenagem inteligente	74
3.8. O método do Soil Conservation Service no estudo das medidas não convencionais	75
4. MATERIAIS E MÉTODOS	79
4.1. Modelo metodológico da pesquisa	79

4.2. Características geográficas do município de localização da área do experimento	82
4.3. Localização hidrográfica da área do experimento	84
4.3.1. Situação atual na região hidrográfica do lote experimental	84
4.4. Definição, caracterização e tipologia da unidade experimental-lote	85
4.5. Projeto básico	86
4.5.1. Classificação de uso e ocupação do solo do lote	89
4.6. Execução das obras	91
4.6.1. Montagem do biodigestor séptico	92
4.6.1.1. Estimativa de tempo de residência do efluente gerado no biodigestor	98
4.6.2. Construção civil do telhado verde	100
4.6.3. Dimensionamento da trincheira de infiltração visando à elaboração do projeto executivo com monitoramento	106
4.6.4. Execução da trincheira de infiltração	112
4.7. Monitoramento das medidas não convencionais de reservação d'água instaladas no lote	114
4.7.1. Calibração do pluviômetro da estação local	117
4.7.2. Localização e caracterização da estação meteorológica	119
4.7.3. Equipamentos de análise quali-quantitativa	123
4.7.3.1. Sensor de nível variável para escoamento superficial	123
4.7.3.2. Sensor de nível variável para escoamento sub-superficial da trincheira	125
4.7.3.3. Sensor de nível variável para escoamento do telhado verde	126
4.7.3.4. Registro manual de nível em bóia	128
4.7.4. Monitoramento das águas pluviais do telhado verde	128
4.7.5. Monitoramento na trincheira de infiltração	131
4.7.6. Monitoramento quali-quantitativo do escoamento superficial do lote	133
4.7.7. Sincronização dos equipamentos junto às estações de coleta	135
4.8. Dimensionamento do reservatório de águas pluviais	137
4.8.1. Previsão de consumo de água não potável para a residência em estudo	137
4.8.2. Método analítico de Rippl para o dimensionamento do reservatório de águas pluviais	139
4.8.3. Balanço de massa pelo método gráfico de Rippl	141
4.9. Metodologia para coleta e mistura do processo de biodigestão	143
4.10. Balanço hídrico proposto para o telhado verde	145
4.11. Estimativa das relações funcionais a partir do método do SCS	150
4.12. Recomendações técnicas de manutenção do sistema de reservação	153
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	158
5.1. Análise de viabilidade econômica de implantação das medidas não convencionais de reservação d'água	159
5.1.1. Viabilidade econômica de instalação do biodigestor	160
5.1.2. Viabilidade econômica da implantação do telhado verde	163
5.1.3. Análise econômica de implantação da trincheira de infiltração	165
5.1.4. Viabilidade econômica da implantação do reservatório de aproveitamento de água de chuva	165
5.1.4.1. Orçamento para reservatórios em concreto armado moldado <i>in loco</i>	166
5.1.4.2. Orçamento para reservatórios em polietileno	167
5.1.4.3. Orçamento para reservatórios em anéis de concreto	168
5.1.4.4. Orçamento para a composição de custos das instalações do sistema de aproveitamento de água de chuva	169
5.2. Estimativas de reservação da lâmina d'água equivalente proveniente do telhado verde	171

5.2.1. Balanço hídrico para o telhado verde: eventos de longo prazo	174
5.2.2. Balanço hídrico do telhado verde: eventos de curto prazo	190
5.2.3. Qualidade térmica do escoamento acumulado no telhado verde.....	210
5.3. Monitoramento quantitativo e qualitativo do escoamento superficial e subsuperficial gerado pelo lote	212
5.3.1. Escoamento subterrâneo de recarga pelo poço profundo	213
5.3.2. Escoamento superficial e subsuperficial pela trincheira de infiltração	216
5.4. Análises do efluente sanitário gerado a partir do biodigestor	241
5.5 Proposta de desenvolvimento de um sistema de drenagem inteligente aplicado em lotes urbanos com previsão antecipada de chuvas	247
6. CONCLUSÕES	251
7. RECOMENDAÇÕES	260
8. CRONOGRAMA FÍSICO.....	261
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	262
ANEXOS	284
ANEXO 1: DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA.....	285
ANEXO 2: ORÇAMENTO PARA BIODIGESTOR*	289
ANEXO 3: ORÇAMENTO DO TELHADO VERDE INSTALADO NO LOTE*	290
ANEXO 4: ORÇAMENTO DO TELHADO VERDE x TELHADO CONVENCIONAL ...	291
ANEXO 5: ORÇAMENTO PARA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO.....	292
ANEXO 6: ORÇAMENTO PARA RESERVATÓRIO R1 EM CONCRETO ARMADO MOLDADO IN LOCO COM 8M ³	293
ANEXO 7: ORÇAMENTO PARA RESERVATÓRIO R2 EM CONCRETO ARMADO MOLDADO IN LOCO COM 12M ³	294
ANEXO 8: ORÇAMENTO PARA RESERVATÓRIO EM POLIETILENO	295
ANEXO 9: ORÇAMENTO PARA RESERVATÓRIO EM ANÉIS DE CONCRETO COM 20M ³	296
ANEXO 10: COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE PREÇOS	297
ANEXO 11: ANÁLISE LABORATORIAL DO EFLUENTE TRATADO.....	302

Lista de figuras

Figura 3.1 – Cenários de modificação do uso do solo e hidrogramas correspondentes.	9
Figura 3.2 – Esquema de uso de medida compensatória denominada <i>trincheira de infiltração</i> para o armazenamento das águas pluviais.	14
Figura 3.3 – Corte em perspectiva e especificação técnica de uma trincheira de infiltração.	15
Figura 3.4 – Evolução do processo de colmatação (DETAY et al., 1994, <i>apud</i> SOUZA, 2002).	16
Figura 3.5 – Corte longitudinal da trincheira: efeito da declividade sobre o cálculo do volume de armazenamento.	25
Figura 3.6 – Imaginário dos Jardins Suspensos da Babilônia, construído no século VI a.C.	28
Figura 3.7 – Perfil básico de um telhado verde com distribuição de camadas.	29
Figura 3.8 – Estudo térmico de influência da vegetação em telhados verdes comparada com as estruturas de cobertura convencionais (KOLB, 2003, adaptado).	32
Figura 3.9 – Temperatura interna gerada devido ao uso de diferentes tipos de cobertura.	33
Figura 3.10 – Balanço hídrico entre um teto verde e um telhado convencional.	34
Figura 3.11 – escoamento e picos de drenagem de um telhado verde e de outras coberturas (KOLB, 2003).	35
Figura 3.12 – Condições do escoamento sobre o telhado verde a partir de diferentes inclinações (KOLB, 2003).	36
Figura 3.13 – escoamento sobre telhados convencionais a partir de diferentes inclinações e posição geográfica (RAGAB et al., 2003).	38
Figura 3.14 – escoamento acumulado sobre telhados convencionais para dados observados (- - -) e simulados (····) pelo modelo de Gash. A precipitação é dada por “-----“ (GASH et al., 2007).	39
Figura 3.15 – Desenvolvimento de subsídios para telhados verdes (MAURER, 2004, <i>apud</i> NGAN, 2004).	41
Figura 3.16 – Esquema de microrreservatório para lotes urbanos (GENZ, 1994).	43
Figura 3.17 – Hidrograma de microrreservatório RES localizado na saída do telhado (GENZ, 1994).	44
Figura 3.18 – Exemplos de <i>drywell</i> ou <i>sump</i> como microrreservatório de água pluvial e controle da poluição (ESCP, 2002).	45
Figura 3.19 - Cisternas do povo maia chamadas <i>chultuns</i> , com volume de armazenamento de até 45.000 litros (GNADLINGER, 2000).	47
Figura 3.20 – Uso de água de chuva para agricultura no estado de Gansu na China (LI, 2000).	49
Figura 3.21 – Média de consumo de água residencial nos Estados Unidos (VICKERS, 2001).	52
Figura 3.22 – Hipóteses de mecanismos de geração do escoamento (BEVEN, 1986, <i>apud</i> MENDIONDO e TUCCI, 1997).	56
Figura 3.23 – Sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva (OHNUMA JR., 2005).	58
Figura 3.24 – Realimentação do sistema de reservação entre caixas d’água (3P TECHNIK, 2007).	60

Figura 3.25 – Fossa séptica biodigestora para efluente sanitário (EMBRAPA, 2004).	68
Figura 3.26 – Corte típico com descrição das camadas dos pavimentos permeáveis.....	70
Figura 4.1 – Esquema síntese da metodologia abordada na tese.....	81
Figura 4.2 – Localização da área-lote de estudo – Município de São Carlos/SP.....	84
Figura 4.3 – Layout de localização e implantação dos dispositivos de controle de poluição hídrica no lote.....	89
Figura 4.4 – Etapas e detalhes da construção do biodigestor séptico. (1) e (2): reservatório de tratamento; (3): reservatório de armazenamento; (A): ponto de coleta do efluente; (B): registro de saída para a rede pública; (C): mangueira de leitura de nível do reservatório de armazenamento.....	96
Figura 4.5 – Esquema de composição das camadas filtrantes da terceira caixa: 10 cm de brita nº 3 + 10 cm de brita nº 1 + 30 cm de areia lavada para a remoção da matéria orgânica gerada, com tela de nylon.....	97
Figura 4.6 – Projeto executivo da estrutura do telhado verde e proteção estrutural do biodigestor. Medidas em metros.....	101
Figura 4.7 – Obras civis do telhado verde, limpeza e aplicação de resina impermeabilizante.....	102
Figura 4.8 – Posicionamento do dreno, furação e sentido do escoamento sobre o teto verde.....	103
Figura 4.9 – Aplicação de manta geotêxtil, substrato e plantio para composição do telhado verde. ..	104
Figura 4.10 – Drenos de saída do teto verde com reservatório de captação, extravasor e registro de esfera para manutenção e limpeza.....	105
Figura 4.11 – Área de contribuição e sentido do escoamento superficial para a trincheira de infiltração.....	107
Figura 4.12 – Projeto executivo da trincheira do lote urbano (Graciosa et al, 2007).....	110
Figura 4.13 – Composição granulométrica do solo (GRACIOSA et al., 2007).	112
Figura 4.14 – Revestimento em manta geotêxtil da valeta escavada e cobertura de preenchimento com brita para formação da trincheira de infiltração.....	113
Figura 4.15 – Vistas montante (M) e a jusante (J) do sentido do escoamento sob a trincheira de infiltração.....	114
Figura 4.16 – Equipamentos de medição utilizados para o monitoramento do lote urbano: estação meteorológica e linígrafos automáticos e de bóia.....	115
Figura 4.17 – Localização da área de estudo e da estação meteorológica adotada preliminarmente. ..	116
Figura 4.18 – Localização da área experimental do lote e vista da estação de monitoramento.	120
Figura 4.19 – Exemplos de dados meteorológicos do lote disponíveis on-line a partir do site:.....	122
Figura 4.20 – Representação para transmissão de dados do Diver.....	125
Figura 4.21 – Capacidade máxima de armazenamento de dados dos equipamentos de monitoramento.....	127
Figura 4.22 – Monitoramento das águas que escoam do telhado verde utilizando o CTD-Diver.....	129

Figura 4.23 – Monitoramento das águas pluviais que escoam do telhado verde utilizando o linígrafo manual de bóia.	130
Figura 4.24 – Poços de monitoramento da trincheira.....	131
Figura 4.25 – Poço 2 de monitoramento da trincheira com instalação do linígrafo.....	133
Figura 4.26 – Caixa de passagem e monitoramento de quantidade e de qualidade de águas pluviais do lote experimental.....	134
Figura 4.27 – Teste de calibração e sincronização temporal dos equipamentos.....	136
Figura 4.28 – Diagrama de massas do método de Rippl para cenários (a) e (c).	142
Figura 4.29 – Diagrama de massas do método de Rippl para cenários (b) e (d).	142
Figura 4.30 – Biodigestor com despejo de mistura A + EB.....	144
Figura 5.1 – Distribuição de custo de material para as etapas de serviços de montagem do biodigestor.	161
Figura 5.2 – Dimensões do reservatório de escoamento de água pluvial proveniente do telhado verde.	172
Figura 5.3 – Monitoramento observado do escoamento pluvial sobre o telhado verde entre 13/09/2006 e 09/10/2006.....	176
Figura 5.4 – Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 13/09/2006 e 09/10/2006....	178
Figura 5.5 – Temperatura do escoamento e do ambiente para o período característico entre 13/09/2006 e 09/10/2006.....	178
Figura 5.6 – Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 04/12/2006 e 11/12/2006....	179
Figura 5.7 – Temperatura do escoamento e do ambiente para o período característico entre 04/12/2006 e 11/12/2006.....	179
Figura 5.8 – Monitoramento observado do escoamento pluvial sobre o telhado verde entre 26/12/2006 e 01/01/2007.....	182
Figura 5.9 – Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 20/01/2007 e 26/01/2007....	183
Figura 5.10 – Temperatura do escoamento e do ambiente para o período característico entre 20/01/2007 e 26/01/2007.....	184
Figura 5.11 – Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 26/01/2007 e 02/02/2007..	185
Figura 5.12 – Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 02/02/2007 e 09/02/2007..	186
Figura 5.13 – Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 16/03/2007 e 23/03/2007..	186
Figura 5.14 – Coeficiente de escoamento do telhado verde para diversos períodos característicos.	187
Figura 5.15 – Eventos de curto prazo para o telhado verde entre 01/10/2006 e 02/10/2006.	192
Figura 5.16 – Eventos de curto prazo para o telhado verde entre 04/10/2006 e 06/10/2006.	194
Figura 5.17 – Eventos de curto prazo para o telhado verde entre 06/12/2006 e 07/12/2006.	196
Figura 5.18 – Eventos de curto prazo para o telhado verde entre 08/12/2006 e 09/12/2006.	198
Figura 5.19 – Eventos de curto prazo para o telhado verde em 20/12/2006.	199

Figura 5.20 – Monitoramento observado do escoamento pluvial sobre o telhado verde em 20/12/2007.	200
Figura 5.21 – Eventos de curto prazo para o telhado verde em 18/01/2007.....	201
Figura 5.22 – Eventos de curto prazo para o telhado verde em 26/01/2007.....	203
Figura 5.23 – Eventos de curto prazo para o telhado verde em 18/03/2007.....	204
Figura 5.24 – Coeficiente de escoamento sobre o telhado verde a partir da precipitação observada pelos eventos analisados de curto prazo.	205
Figura 5.25 – Correção do coeficiente de escoamento sazonal do telhado verde a partir da precipitação total observada.....	207
Figura 5.26 – Eficiência na retenção hídrica do telhado verde em relação ao telhado convencional.	209
Figura 5.27 – Função da precipitação acumulada para os eventos sobre o telhado verde. O limite de ($F + Ia$) é representado pela curva tracejada.	209
Figura 5.28 – Qualidade térmica da água de escoamento do telhado verde e do ambiente em 20/01/2007.....	211
Figura 5.29 – Qualidade térmica da água de escoamento do telhado verde e do ambiente em 02/02/2007.....	211
Figura 5.30 – Qualidade térmica da água de escoamento do telhado verde e do ambiente em 26/02/2007.....	212
Figura 5.31 – Monitoramento quali-quantitativo do Poço 1 de recarga entre 07/2006 e 08/2006.	213
Figura 5.32 – Monitoramento quali-quantitativo do Poço 1 de recarga entre 09/2006 e 10/2006.	214
Figura 5.33 – Evento do Poço 1 de recarga entre 29/07/2006 e 31/07/2006.....	215
Figura 5.34 – Monitoramento quantitativo do escoamento superficial e subsuperficial em 19/11/2006.	218
Figura 5.35 – Lâminas de precipitação e do escoamento gerado pelo lote em 19/11/2006.	218
Figura 5.36 – Monitoramento qualitativo do escoamento superficial em 19/11/2006.....	219
Figura 5.37 – Volumes amortizados pela trincheira de infiltração em 19/11/2006.....	221
Figura 5.38 – Monitoramento quali-quantitativo do escoamento superficial e subsuperficial em 25/11/2006.....	222
Figura 5.39 – Lâminas de precipitação e do escoamento gerado pelo lote em 25/11/2006.	223
Figura 5.40 – Volumes amortizados pela trincheira de infiltração em 25/11/2006.....	224
Figura 5.41 – Evento de baixa intensidade em 03/01/2007.....	225
Figura 5.42 – Evento de média intensidade em 01/01/2007.....	225
Figura 5.43 – Evento de alta intensidade em 06/12/2006.....	226
Figura 5.44 – Coeficiente de escoamento subsuperficial pela trincheira para eventos de diferentes intensidades.	228
Figura 5.45 – Coeficiente de escoamento superficial na saída do lote para eventos de diferentes intensidades.	228

Figura 5.46 – Esquema tradicional sem controle do uso da água.	231
Figura 5.47 – Esquema alternativo de reservação e controle do uso da água.	231
Figura 5.48 – Eficiência na retenção hídrica na saída do lote com e sem controle alternativo.	234
Figura 5.49 – Eficiência na retenção hídrica pela trincheira de infiltração.	235
Figura 5.50 – Eventos integrados de escoamento do lote (<i>ES</i>), telhado verde (<i>ETV</i>) e trincheira de infiltração (<i>ETR</i>). As medidas de reservação possuem áreas de contribuição distintas.	237
Figura 5.51 – Análise da eficiência global de integração das medidas de reservação instaladas no lote para o cenário sem controle (<i>Psc</i>) e com controle (<i>Pcc</i>).	239
Figura 5.52 – Precipitação efetiva sem controle (<i>Psc</i>) e com controle (<i>Pcc</i>) em função da precipitação total.	240
Figura 5.53 – Eficiência na remoção de agentes do efluente tratado pelo biodigestor séptico em quatro coletas.	244
Figura 5.54 – Eficiência em dispersão para parâmetros diversos.	245
Figura 5.55 – Eficiência em dispersão para parâmetros fecais e totais.	245
Figura 5.56 – Estrutura de lógica de funcionamento para o sistema de drenagem inteligente.	248

Lista de tabelas

Tabela 3.1 – Principais benefícios da aplicação das medidas não convencionais de controle do escoamento para lotes urbanos e desvantagens	11
Tabela 3.2 – Melhorias no estado de conservação da eficiência de uma trincheira	17
Tabela 3.3 – Valores de C_e para superfícies de escoamento	20
Tabela 3.4 – Parâmetro de ajuste da Equação de Philip	22
Tabela 3.5 – Porosidade para materiais interiores da trincheira	24
Tabela 3.6 – Porosidade do solo para áreas agriculturáveis	37
Tabela 3.7 – Coeficiente de escoamento para telhado verde de acordo com sua espessura e inclinação	40
Tabela 3.8 – Dados do Projeto de Gerenciamento de Parca Potsdam, em Berlim, na Alemanha	48
Tabela 3.9 – Valores considerados para estimativa de consumo de água residencial	51
Tabela 3.10 – Coeficiente de runoff C para telhado a partir de diferentes literaturas	54
Tabela 3.11 – Coeficiente de runoff C para telhado em outros países	54
Tabela 3.12 – Parametrização de qualidade de água para reúso em diferentes normas	64
Tabela 3.13 – Níveis de tratamento e valores dos principais parâmetros de qualidade dos efluentes... 65	
Tabela 4.1 – Características geográficas e meteorológicas do município de São Carlos/SP	82
Tabela 4.2 – Características iniciais da área edificável	86
Tabela 4.3 – Cronograma executivo das medidas implantadas do lote experimental	87
Tabela 4.4 – Classificação das áreas de uso e ocupação do solo no lote domiciliar	90
Tabela 4.5 – Relação de materiais utilizados para montagem do biodigestor	94
Tabela 4.6 – Granulometria das britas utilizadas	97
Tabela 4.7 – Características de composição do volume do efluente a reservar	99
Tabela 4.8 – Tempo de residência do efluente gerado no biodigestor	99
Tabela 4.9 – Hipóteses de cálculo para o dimensionamento da trincheira	106
Tabela 4.10 – Dimensionamento da trincheira para duas seções distintas e a projeção efetuada para o lote em estudo	109
Tabela 4.11 – Composição granulométrica do solo no lote	111
Tabela 4.12 – Especificações dos dados meteorológicos de coleta on-line	121
Tabela 4.13 – Consumo de água não potável para a residência em estudo	139
Tabela 4.14 – Data de adição da mistura no biodigestor	144
Tabela 4.15 – Valores de albedo	149
Tabela 4.16 – Cronograma dos dados de coleta do monitoramento das medidas instaladas	152
Tabela 4.17 – Recomendações de manutenção para o telhado verde	153
Tabela 4.18 – Recomendações de manutenção para a caixa de saída do escoamento superficial	154

Tabela 4.19 – Recomendações de manutenção para a trincheira de infiltração	154
Tabela 4.20 – Recomendações de manutenção para a fossa séptica biodigestora	155
Tabela 4.21 – Recomendações de manutenção para a estação meteorológica Davis Vantage Pro	155
Tabela 4.22 – Recomendações de manutenção para o linígrafo CTD Diver [®]	156
Tabela 4.23 – Recomendações de manutenção para o linígrafo Global Water WL-15 [®]	156
Tabela 4.24 – Recomendações de manutenção para o linígrafo TS.....	157
Tabela 5.1 – Planilha orçamentária para a montagem do biodigestor.....	162
Tabela 5.2 - Planilha orçamentária das instalações do reservatório de aproveitamento de água de chuva	170
Tabela 5.3 – Custo final para reservação e aproveitamento de água de chuva a partir de diferentes materiais	171
Tabela 5.4 – Características geométricas da caixa de reservação d'água do telhado verde.....	172
Tabela 5.5 – Balanço hídrico inter-eventos em períodos característicos com monitoramento contínuo no telhado verde	189
Tabela 5.6 – Dados observados de precipitação dos eventos #15 e #41	202
Tabela 5.7 – Dados observados de escoamento dos eventos #15 e #41	202
Tabela 5.8 – Resumo dos dados observados e acumulados no mês para o telhado verde	207
Tabela 5.9 – Dados de precipitação total observados pela estação do lote	229
Tabela 5.10 – Resumo do balanço hídrico estimado pelo monitoramento das medidas incorporadas no lote.....	229
Tabela 5.11 – Resultados das análises do efluente sanitário.....	243

Lista de siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Antac	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ART	Atestado de Responsabilidade Técnica
Asce	American Society of Civil Engineers [Sociedade Americana de Engenheiros Civis]
BDI	Benefícios de despesas indiretas
BMP	<i>Best management practice</i> [melhor prática de gestão]
CEET	Comissão de Estudo Especial Temporária
CNA	Comisión Nacional del Agua [Comissão Nacional da Água]
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Crea	Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
CT-Agronegócio	Fundo Setorial de Agronegócio
CT-Hidro	Fundo Setorial de Recursos Hídricos
CVL	Cobertura verde leve
E-DIN	E-Deutsche Industrie Normen [E-Normas da indústria alemã]
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Enau	Encontro Nacional de Águas Urbanas
Entac	Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
EPA	Environmental Protection Agency [Agência de Proteção Ambiental]
ESCP	Environmental Services - City of Portland [Serviços Ambientais - Cidade de Portland]
Fadisc	Faculdade de Direito de São Carlos
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
Fiesp	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
Finep	Financiadora de Estudos e Projetos
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau [Sociedade de Pesquisa e Desenvolvimento de Paisagens e Paisagismo]
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
IWA	International Water Association [Associação Internacional da Água]
LS	Leis sociais
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
NBR	Norma brasileira
NIBH	Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas
PDMSC	Plano Diretor do Município de São Carlos
PEAD	Polietileno de alta densidade

PMSP	Prefeitura do Município de São Paulo
Prosab	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PVC	<i>Poly vinyl chloride</i> [policloreto de vinila]
REM	<i>Rain enveloped methods</i> [método de envelopamento pluvial]
SCS	Soil Conservation Service [Serviço de Conservação do Solo]
Sebrae	Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
Senac	Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial
Senai	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Sinduscon	Sindicato das Indústrias da Construção Civil
TCPO	Tabela de composição de preços orçamentários
TS	Linígrafo TS
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Unesco	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation [Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura]
Unicep	Centro Universitário Paulista
UPRCT	Upper Parramatta River Catchment Trust [Fundos para o Represamento da Margem Superior do Rio Parramatta]
Usepa	United States Environmental Protection Agency [Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos]
USP	Universidade de São Paulo
UV	Ultravioleta
VMP	Valor máximo permitido
WEF	Water Environment Federation [Federação Ambiental da Água]
WL-15 [©]	Linígrafo Global Water

Lista de símbolos

A	Área de contribuição
a	Albedo da superfície
a, b, c e d	Parâmetros ajustados empiricamente
Ad	Área de contribuição conectada à trincheira
A_{lote}	Área total do lote
A_{TR}	Área de contribuição para a trincheira de infiltração
A_{TV}	Área de contribuição do telhado verde
B	Base maior da seção transversal da trincheira
b	Base menor da seção transversal da trincheira
BDI	Benefícios de despesas indiretas
C	Sortividade do solo
CA	Coefficiente de aproveitamento
Ce	Coefficiente de escoamento
Ce_{cc}	Coefficiente de escoamento com controle
CE_{evento}	Coefficiente de escoamento considerando os eventos selecionados
$Cesc$	Coefficiente de escoamento sem controle
$Ce-ss$	Coefficiente de escoamento subsuperficial
$Ce-subsup.cc$	Coefficiente de escoamento subsuperficial com controle
$Ce-subsup.sc$	Coefficiente de escoamento subsuperficial sem controle
$Ce-sup$	Coefficiente de escoamento superficial
$Ce-sup.cc$	Coefficiente de escoamento superficial com controle alternativo
$Ce-sup.sc$	Coefficiente de escoamento superficial sem controle alternativo
CE_{total}	Coefficiente de escoamento considerando o total de eventos no período
CF	Coliformes fecais
CN	Curva número válida para uma escala de 0 a 100
CO	Coefficiente de ocupação
CP	Coefficiente de Permeabilidade
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
ea	Pressão de vapor d'água a uma altura da superfície
Ei	Evaporação
$ErGL$	Eficiência na retenção hídrica global
$ErSL$	Eficiência na retenção hídrica na saída do lote
$ErTR$	Eficiência na retenção hídrica pela trincheira de infiltração
$ErTV$	Eficiência na retenção hídrica do telhado verde
ES	Escoamento subsuperficial
es	Pressão de vapor de saturação
ESS	Escoamento subsuperficial
$E(t)$	Escoamento no telhado no tempo t
$E(t - 1)$	Escoamento no telhado no tempo $t - 1$

$ETP(t)$	Evapotranspiração real no tempo t
$ETP(t - 1)$	Evapotranspiração real no tempo $t - 1$
ETV	Escoamento do telhado verde
F	Infiltração
F_{ck}	Resistência do concreto
F_{TR}	Infiltração na trincheira
F_{TV}	Infiltração no telhado verde
G	Radiação incidente de onda curta
H	Altura útil da trincheira
h	Altura da platibanda sobre o telhado verde
$h(t)$	Nível medido no poço de monitoramento
h_0	Altura da trincheira
I	Infiltração acumulada até o instante t
i	Intensidade de precipitação
I_a	Perdas iniciais
IDF	Curva índice-duração-frequência
IIE	Intervalo interevento
IPA_5	Índice de precipitação antecedente de 5 dias
iPh	Taxa de infiltração no instante t
ISS	Conjunto de Sensores Integrados
L	Comprimento da trincheira
$Leq.ac$	Lâmina equivalente do escoamento
L_v	Calor latente de vaporização
NA	Nitrogênio amoniacal
OD	Oxigênio dissolvido
P	Precipitação
p	Relação entre a duração máxima da insolação diária e a insolação de onda curta
Pac	Precipitação acumulada
Pe	Precipitação efetiva
PEAD	Polietileno de alta densidade
$Pefet$	Precipitação efetiva
$Pefet.ES$	Precipitação efetiva do escoamento superficial
$Pefet.TR$	Precipitação efetiva da trincheira de infiltração
$Pefet.TV$	Precipitação efetiva do telhado verde
Pe_{total}	Precipitação efetiva ou lâmina de escoamento equivalente
P_{lotesc}	Precipitação gerada pelo lote sem controle
$P(t)$	Precipitação no tempo t
P_{total}	Precipitação total
PTR	Precipitação efetiva interior à trincheira de infiltração
PTV	Precipitação efetiva do telhado verde
$P(t - 1)$	Precipitação no tempo $t - 1$
Q	Vazão de projeto
Qac	Escoamento acumulado

<i>Retenção</i>	Lâmina retida pelo solo ou devido às perdas iniciais
R_t	Radiação solar no topo da atmosfera
S	Armazenamento do solo
SS	Sólidos suspensos
SST	Sólidos suspensos totais
$S(t)$	Armazenamento do solo no telhado no tempo t
$S(t - 1)$	Armazenamento do solo no telhado no tempo $t - 1$
SVT	Sólidos voláteis totais
(S1)	Sensor de nível do copo coletor
(S2)	Sensor de chuva
Tr	Período de retorno em anos
T	Temperatura ambiente
t	Duração da precipitação
(T1)	Tempo preset sem chuva
U	Umidade relativa do ar
V_{af}	Volume afluyente
V_{ef}	Volume efluyente à trincheira
$V_{escoado}$	Volume de escoamento coletada pelo reservatório de acumulação
V_{inf}	Volume de água infiltrado
V_{prec}	Volume precipitado sobre a área de contribuição
V_t	Volume de armazenamento da trincheira
(V1)	Válvula que tem a função de coletar a chuva proveniente do telhado para posteriormente armazenar no reservatório
(V2)	Válvula que tem a função de descartar a chuva coletada no telhado
(V3)	Válvula que tem a função de descartar a água do copo coletor
$V1$	Volume de controle da primeira camada do reservatório em litros
$V2$	Volume de controle da segunda camada do reservatório em litros
$V3$	Volume de controle da terceira camada do reservatório em litros
$V4$	Volume de controle da quarta camada do reservatório em litros
w_2	Velocidade do vento
α	Ângulo correspondente ao C_e com controle
β	Ângulo correspondente ao C_e do telhado verde
δ	Ângulo correspondente ao C_e sem controle
ΔV	Volume de reservação total do reservatório
Δ_{varmaz}	Varição de volume na trincheira
Δ_{vlat}	Contribuição lateral de volume para a trincheira
θ	Ângulo correspondente ao C_e do telhado convencional
λ	Ângulo correspondente ao C_e global sem controle
μ	Ângulo correspondente ao C_e global com controle
σ	Constante de Stefan-Boltzman
Ψ	Ângulo correspondente ao C_e da trincheira sem controle
\emptyset	Ângulo correspondente ao C_e da trincheira com controle
\emptyset_b	Porosidade da brita
\emptyset_s	Porosidade do solo utilizado no plantio

Resumo

Este trabalho visa analisar a redução da poluição hídrica através do monitoramento de medidas não convencionais de reservação d'água aplicadas em lotes urbanos a partir da eficiência individual e global integrada no lote. Prioriza também monitorar a quantidade e a qualidade da poluição e do despejo das águas pluviais a partir do seu escoamento. A inclusão dessas medidas em lotes residenciais e/ou comerciais oferece oportunidades de melhorias no controle das cheias, além de favorecer a recarga do aquífero e diminuir o impacto hidrológico em sua própria fonte geradora. Dentre os dispositivos ou medidas instaladas destacam-se: trincheira de infiltração e poço profundo, telhado verde com reservação, reservatório de retenção do escoamento superficial proveniente das águas pluviais e tratamento de águas residuárias com biodigestor visando o reúso do efluente para fins não potáveis. As estruturas de aproveitamento e de reúso favorecem a retenção e a detenção da água no lote e contribuem para diminuir o fluxo em direção aos dispositivos da micro e macrodrenagem. Para cada uma das aplicações aplicou-se monitoramento com equipamentos de precisão, como: linígrafos digitais, estação meteorológica, análise de qualidade da água. Os dados gerados contribuem para conferir indicadores, além de preencher uma lacuna deixada pela sugestão de implantação de dispositivos na fonte para adequação e otimização do sistema de drenagem e controle alternativo. Os resultados obtidos pelo monitoramento indicam que a adoção de tais práticas permite uma eficiência integrada na retenção do escoamento de até 80% quando comparada com uma residência sem controle do uso da água. Este cenário, ocupado tendencial ou convencionalmente, resultou lâminas de escoamento de até 90% da precipitação total. Durante um ano em operação, com análise de aproximadamente 120 eventos naturais, não induzidos, em seis meses de dados avaliados, os eventos resultaram em eficiência no desempenho das medidas instaladas. Portanto, o efeito combinado das medidas potencializa a retenção do escoamento e otimiza a capacidade de reservação d'água em áreas particulares. Recomenda-se, entre outras atividades, o desenvolvimento de um sistema de gestão integrada e descentralizada de águas urbanas, com enfoque em drenagem seletiva a partir do aproveitamento de águas pluviais.

Palavras-chave: *medidas não convencionais ou compensatórias, reservação d'água, monitoramento hidrológico, águas urbanas.*

Abstract

This paper aims to analyze the reduction of hydropollution through monitoring non conventional reservation of water applied in urban lots starting from individual and global efficiency integrated to the lot. It also prioritizes the monitoring of both quality and quantity of pollution and the rain flow from its draining. The inclusion of these measurements on residential and/or commercial lots offers opportunities of improvement on controlling floods besides improving the refilling of the aquifer and on diminishing the hydrological impact on its own generation source. Among the appliances and actions taken towards the goal some can be highlighted: infiltration trenchers and deep well, reservoir with retention of superficial flow that originates from the rain and treatment of residual water for non-drinking use. The structures of reutilization of water favor the detention and retention on the lot and contribute to diminish the flow into the appliances directed to micro and macro-drainage. To each of the applications, monitoring with precision equipment such as digital limnigraphs, weather stations and analysis of quality of the water were applied. The generated data contributed to the storage of indicators and also filled in a gap left by the suggestion of setting the appliances on the source for adapting and optimizing the draining system and an alternative control. The results obtained by the monitoring indicate that their implementation on the lots allow an efficiency of up to 80% on the retention of the flow when compared to a home without water use control. This scenery filled in conventionally on a trend resulted in flowing laminas of up to 90% of the total amount of rain. During the one year of this operation, were analyzed approximately 120 natural, non-induced events and in six months of evaluated data was shown that there is efficiency presented in the installed appliances. So, the combined effect of the procedures improves the control of the flow and increases the capacity for water storage on private areas. It is recommended the development of an integrated and decentralized management system of urban waters focusing on selective draining based on the use of rain water.

Key words: *non-conventional or compensatory measurements; saving water; hydrological monitoring; urban waters.*

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo introduz as principais discussões a respeito do conceito de *águas urbanas* que, embora emergente na discussão de políticas públicas, ainda não está muito bem inserido socialmente, principalmente nas escalas menores do tipo residenciais e/ou comerciais. A estimativa do balanço hídrico na escala de lote, para avaliar a viabilidade técnica da aplicação de determinadas medidas de controle, sofre pela carência de informações, devido às análises necessitarem de dados locais, e não regionais, a fim de garantir uma maior confiabilidade e diminuição de incertezas dos resultados.

Situação problema e questionamentos da tese

Atualmente existe uma conceituação impregnada de medidas adotadas, tanto nas empresas quanto nas decisões públicas, visto que os impactos gerados pelas construções convencionais muitas vezes são transferidos para áreas a jusante em vez de reduzidos localmente. As obras aplicadas em sistemas de drenagem são exemplos práticos de um comportamento padronizado da construção civil como tendência de mercado, observado na implantação de galerias e canais de concreto para drenagem de águas pluviais, tamponamento de córregos, retificação de traçados dos rios, aumento de declividades de fundo dos canais, em casos de elevada taxa de impermeabilização do solo e em demais intervenções tradicionais de canalização, de uso e ocupação do solo.

Embora algumas alternativas estejam sendo aplicadas na tentativa de se minimizar os efeitos da crescente ocupação urbana, muitas delas ainda se encontram focadas na idéia de afastamento dos problemas, o que tende a gerar conseqüências ao longo da bacia. Construtivamente, a grande maioria dos projetos atualmente elaborados deixa a desejar

quando se pretende equacionar o balanço hídrico com o propósito de zerar o impacto hidrológico no lote ocupado.

Soluções e alternativas para o controle do escoamento

Como resposta para compensar uma série de impactos, a instalação e o monitoramento de determinadas medidas não convencionais apresentam-se não somente como uma alternativa para a descentralização do processo de decisões com influência em diferentes atuações de reservação e uso da água, mas também como proposta de tornar mais eficiente cada uma das instalações. Fisicamente, as medidas incluem dispositivos de dimensões adequadas conforme a planta original e as cotas do terreno, dando preferência para que o escoamento possa ter um destino com fluxo d'água controlado e direcionado para um sistema de reservação e controle.

Como princípio básico referente aos serviços de saneamento, utilizou-se a Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a sua respectiva política federal. O conjunto de mecanismos dispostos como instalações operacionais incluem além do abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas, sendo este último principalmente na detenção e retenção do escoamento.

As alternativas instaladas configuram posições hidrológicas, especialmente na escala de lote domiciliar, entretanto estão fortemente integradas com a questão ambiental e ecológica devido à introdução de conceitos e metodologia com resultados expressivos quantos aos aspectos ecohidrológicos, embora tratado de maneira peculiar.

Os dados deste trabalho, portanto apresentam alternativas ou possibilidades inclusivas de tecnologias em sistemas de gerenciamento na drenagem em lotes domiciliares.

E, para verificar a viabilidade técnica dessas alternativas, propõe-se analisar hidrologicamente a eficiência das instalações a partir da capacidade de reservação d'água com monitoramento e análise de dados em cada uma delas e na sua integração.

Estrutura organizacional da tese

Capítulo 2: apresenta o objetivo geral da tese, destacando-se também outros objetivos principais relacionados à quantificação e ao monitoramento das águas superficiais e sub-superficiais a partir da viabilidade econômica dos dispositivos instalados.

Capítulo 3: apresenta uma revisão da literatura na área dos recursos hídricos e, sucintamente, na área da engenharia sanitária, tratando mais especificamente das medidas de controle potenciais de uso da água que podem ser incorporadas em áreas residenciais, industriais e/ou comerciais. Constam revisados os estudos das principais estruturas não convencionais de controle do escoamento, como: trincheiras de infiltração, telhados verdes, reservatórios de aproveitamento de água da chuva, pavimentos permeáveis e poços de infiltração. No estudo do tratamento das águas residuárias, revisou-se com maior profundidade a questão do reúso das águas e suas aplicações.

Capítulo 4: discute a metodologia realizada, a partir da implantação de determinadas medidas de reservação e suas interferências no lote. As seqüências construtivas das obras civis são apresentadas a partir das medidas não convencionais projetadas, seguidas da realização do monitoramento hidrológico e da coleta dos dados. Esse capítulo contempla resultados prévios estimativos do dimensionamento de algumas estruturas.

Capítulo 5: apresenta os principais resultados das coletas realizadas pelo monitoramento instalado no lote domiciliar. São avaliados os custos de cada instalação, bem como algumas alternativas de construção. As estimativas de reservação de lâmina d'água,

quantitativa e qualitativamente, foram avaliadas em função dos equipamentos de medição instalados. Para uma análise da eficiência de cada medida instalada, avaliou-se, a partir do balanço hídrico, o coeficiente de escoamento para cenários com reservação e cenários tendenciais ou sem controle. Qualitativamente, os resultados apresentados nesse capítulo descrevem alguns indicadores da poluição difusa e outros relacionados aos impactos do despejo dos efluentes sanitários na rede pública.

Capítulo 6: as conclusões do trabalho, tendo como característica principal a validação de todas as medidas não convencionais aplicadas e sua funcionalidade técnico-ambiental. Para verificar se foram atingidos na conclusão do trabalho, os objetivos constam transcritos em *italico*, seguidos de suas respectivas conclusões.

Capítulo 7: apresentam-se as recomendações para trabalhos futuros, indicando as sugestões de continuidade deste trabalho, com aplicações relacionadas à melhoria do sistema implantado e projetos afins, como sistema de drenagem inteligente e de inclusão social. Seguem também ações sugeridas para manutenção do sistema, visando garantir a operação e a vida útil de cada medida.

Capítulo 8: ilustra o cronograma físico previsto e realizado durante o desenvolvimento da tese, desde as disciplinas cursadas, implantação das obras, análise dos dados, qualificação e defesa em banca examinadora.

Capítulo 9: apresenta a bibliografia utilizada para referenciar todo o trabalho, contemplando as pesquisas realizadas pela internet, livros, revistas e artigos científicos nacionais e internacionais.

2. OBJETIVOS

Esta tese tem como principal objetivo analisar a redução da poluição hídrica através de medidas não convencionais de reservação d'água aplicadas em lotes urbanos sob a ótica da eficiência individual e global integrada no lote.

Objetivos precípuos

- a) Quantificar, utilizando monitoramento, os volumes de reservação d'água a partir de medidas não convencionais, como trincheira de infiltração, telhado verde, biodigestor e poço de infiltração profundo instalados em lote urbano domiciliar;
- b) avaliar o desempenho experimental das medidas não convencionais instaladas no lote domiciliar durante eventos hidrológicos naturais, não induzidos, sob diferentes estágios sazonais;
- c) estimar a viabilidade econômica de implantação das medidas não convencionais, apresentando vantagens e desvantagens da escolha desses dispositivos.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo revisa algumas obras da literatura realizadas na área de controle da poluição dos recursos hídricos. Contém, mais especificamente, um breve relato do movimento higienista e dos cenários de uso e ocupação do solo, investigando as principais medidas não convencionais utilizadas para o controle da descarga pluvial e de reúso de águas na própria fonte geradora. Finalmente, tratou-se também da importância da realização do monitoramento hidrometeorológico e das dificuldades encontradas na aplicação das medidas compensatórias em lotes urbanos.

3.1. O movimento higienista ou sanitaria

A partir de uma preocupação central baseada na saúde pública, inicia-se no Brasil, no final do século XIX, um novo ideal de pensamento denominado *movimento higienista* (SOARES, 2001) ou *movimento sanitaria* (HOCHMAN, 1998). Com propostas da época, cabíveis na defesa da saúde da população, começa a surgir uma nova educação de hábitos higiênicos.

Os defensores desta idéia, segundo Rabinbath (1992), utilizavam como argumento fundamental a valorização da população como um bem de capital e de recurso exclusivista e principal da nação. Não havia preocupação na época quanto às questões ambientais e que integralmente constituem, de maneira intrínseca, interesse à sua própria sobrevivência.

Contrariamente à tese de que esta concepção teria terminado nos anos de 1930 e 1940, Góis Júnior e Lovisolo (2003) defendem que o movimento higienista ou sanitaria ainda permanece. Os autores acreditam que muito possivelmente até os dias de hoje, no início

do século XX, os objetivos ainda são preservados com algumas adaptações e mudanças das condições, principalmente na área da saúde.

3.2. O uso e a ocupação convencional do solo em lotes urbanos

Tradicionalmente, tendo como premissa os conceitos do movimento higienista do início do século XIX, os lotes urbanos em sua grande maioria também passaram a adotar soluções para a drenagem das águas pluviais baseadas nos princípios destes conceitos — higienistas ou sanitaristas. As construções começaram a ser projetadas para facilitar o rápido escoamento das águas precipitadas para longe de sua área de captação, ou seja, utilizavam enorme concentração de esforços na impermeabilização do solo e na capacidade de dar soluções consideradas “eficientes” para o caminho das águas.

Segundo a Asce e a WEF (1992), a porcentagem de áreas impermeáveis de uma bacia pode oscilar entre 10% e 100%, dependendo das condições de ocupação. Zonas de baixa densidade residencial, por exemplo, compreendem entre 10% e 30%. Zonas de densidade residencial elevada oscilam entre 30% e 60%, e grandes áreas centrais e comerciais possuem áreas impermeáveis que variam entre 80% e 100%.

Este acúmulo de áreas impermeáveis deve-se basicamente ao processo de crescimento da urbanização que tem sido realizado de forma insustentável, prejudicando a qualidade de vida das pessoas e o meio ambiente. O desenvolvimento urbano, ressalta Tucci (2005), acelerou-se na segunda metade do século XX com a concentração da população em espaços pequenos. Conseqüentemente, todo o ecossistema terrestre e aquático sofreu, e continua sofrendo, impactos de grande escala, afetando a própria população através de inundações, doenças e baixa qualidade de vida.

Ohnuma Jr. (2005) salienta que o processo acelerado de adensamento resulta em inúmeros problemas de infra-estrutura urbana. Este incremento de novas áreas que antes eram permeáveis tem como característica favorecer o escoamento superficial e sobrecarregar redes pluviais. Conjuntamente, como há formação típica de ocupações predatórias, como as das áreas de preservação permanente de fundo de vale, e, portanto, irregulares ambientalmente, torna-se praticamente irremediável a acentuação de ocorrência das inundações urbanas nestas regiões.

Evidentemente, a descaracterização da cobertura vegetal reduz a capacidade de retenção natural do solo. Conforme Semads (2001), este processo se dá por: desmatamento, mudança dos padrões naturais da drenagem e impermeabilização do solo.

Como toda bacia urbana é formada pelo aglomerado de pequenos lotes, seu uso fica dependentemente restrito pela forma com que o solo deste lote é ocupado. Um lote ocupado por pastagens difere hidrológicamente de um lote ocupado por uma residência. Isto significa que a modificação da cobertura vegetal pode influenciar consideravelmente na variação dos hidrogramas de cheia para uma mesma chuva.

Martins (2004) aponta também que o processo de urbanização afeta profundamente o balanço hídrico de uma bacia. As condições de um terreno ou de um lote natural, formado por árvores, vegetações rasteiras e plantações, garantem a interceptação e a infiltração das águas da chuva. A partir do instante em que se realiza o desmatamento e a retirada da camada original do solo, procedendo a sua planificação e compactação, o balanço hídrico do local sofre a perda da capacidade de retenção da precipitação e da infiltração no solo.

Quando realizada a impermeabilização do solo devido à construção de telhados, áreas de estacionamento, ruas pavimentadas e outras áreas impermeáveis, esse processo tende a favorecer um aumento da parcela de volume de chuva que é convertida em escoamento superficial. Schueler (1987) calcula que o coeficiente de escoamento superficial cresce direta

e proporcionalmente na medida em que o percentual de impermeabilização da bacia aumenta. A Figura 3.1 ilustra a caracterização de uso e ocupação do solo ao longo do tempo e suas vazões respectivas.

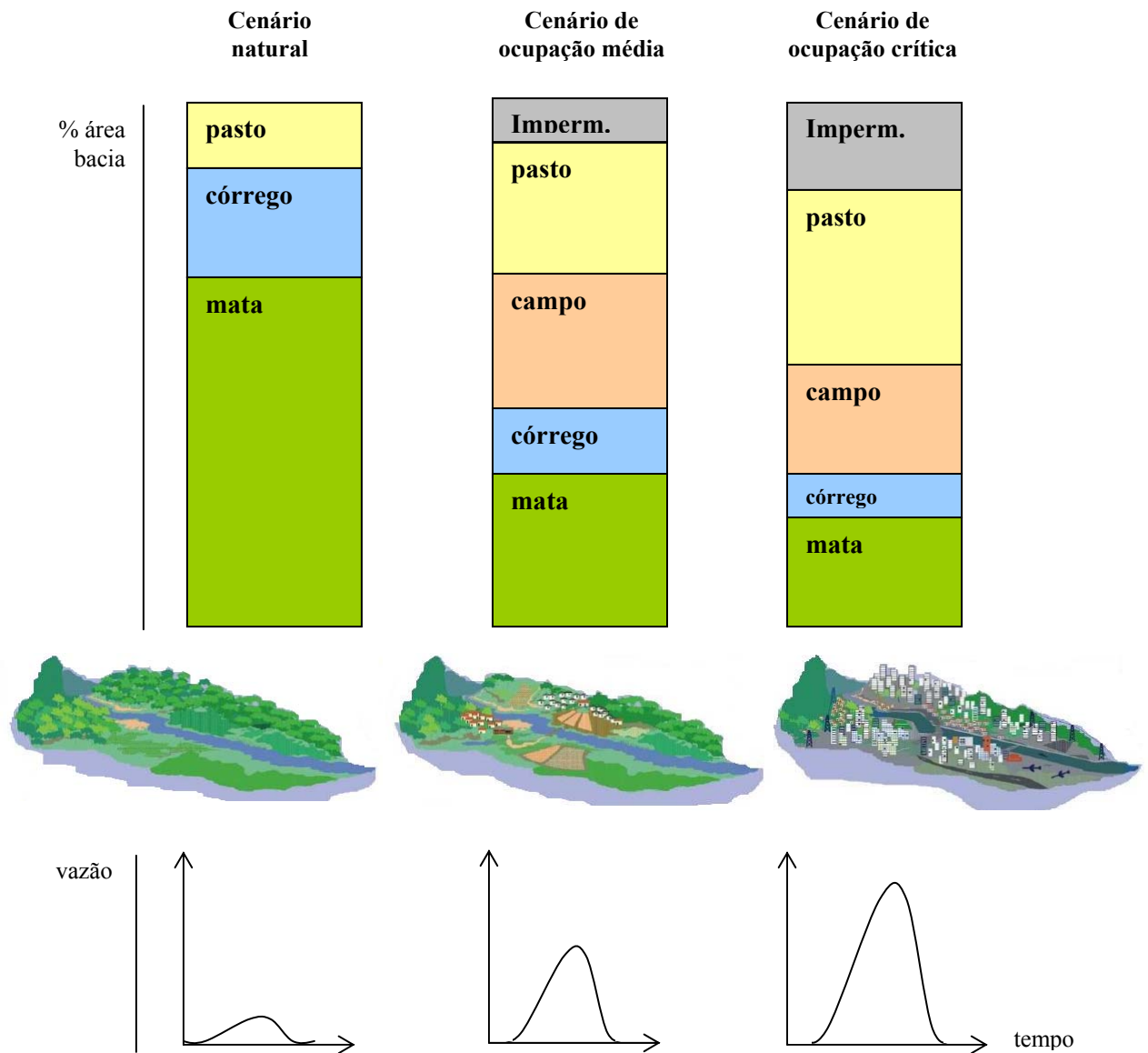


Figura 3.1 - Cenários de modificação do uso do solo e hidrogramas correspondentes.

Este processo de impermeabilização provocado pelo adensamento urbano de forma desordenada tem como resultado uma elevação dos picos de cheia nos córregos e canais. A urbanização, conforme a FCTH/PMSP (1999), tende a alterar o tempo de resposta na

ocorrência das chuvas, devido a uma diminuição da parcela de água que é infiltrada e, conseqüentemente, do tempo de trânsito dessas águas. Segundo as diretrizes propostas pela FCTH, há casos extremos, em que os picos de cheia podem superar seis vezes o pico de uma condição anterior natural.

3.3. Medidas não convencionais de controle do escoamento para lotes urbanos

A tipologia descrita para as medidas não convencionais utilizadas em lotes urbanos é discutida na literatura de forma relativamente recente. Embora desde a Antiguidade já fosse usual a adoção de cisternas de aproveitamento de águas de chuva, esta tecnologia muito pouco ainda é adotada no cenário atual de controle e preservação dos recursos hídricos. A Fortaleza dos Templários, na cidade de Tomar, em Portugal, desde o ano de 1160, conforme relata Tomaz (2003), já dispunha do abastecimento por água de chuva.

Principalmente na Alemanha, na Austrália, nos Estados Unidos e no Japão, algumas cidades já dispõem desses serviços de forma mais efetiva. A cidade de Portland, nos Estados Unidos, por exemplo, usufrui de tecnologias de controle de escoamento denominadas *on-site stormwater detention* ou *detenção do escoamento na fonte*. De acordo com a UPRCT (2001), este mecanismo de detenção local permite melhorar as condições do escoamento diminuindo o volume das inundações urbanas.

Souza (2002) afirma que essas técnicas não são consideradas “inovadoras” pelo fato de serem novas ou modernas, mas sim devido a se oporem ao princípio de “tudo na rede”. Partindo da premissa ambiental da drenagem, e não mais higienista, torna-se necessária a inclusão de medidas compensatórias no espaço que é densamente urbanizado.

As alternativas não convencionais de drenagem permeiam o conceito de *BMPs*. Nascimento et al. (1997) dizem que é necessário considerar os impactos da urbanização não

apenas nas novas áreas que estão sendo urbanizadas, mas sim no contexto urbano global. As medidas compensatórias devem visar sistematicamente os efeitos da urbanização, buscando atuar, sempre que possível, nas proximidades das áreas impermeabilizadas. Os mesmos autores garantem que tudo isso tende a gerar um menor custo de manutenção na infraestrutura urbana dada pelas administrações municipais.

Essas medidas consistem em não mais evacuar o escoamento das águas, tampouco em dispensá-las o mais rápido possível, mas sim retardá-las ou fazê-las infiltrarem no solo. Conforme as características de cada ambiente, empregar essas tecnologias, distribuindo-as espacial e adequadamente, possibilita várias vantagens, como, por exemplo, diminuir o risco das inundações. No entanto, vale ressaltar que o uso destas técnicas também apresenta algumas desvantagens. A Tabela 3.1 demonstra as vantagens citadas por Urbonas e Stahre (1993), Azzout et al. (1994) e Bettis (1996), juntamente a suas principais desvantagens, apresentadas por Souza (2002).

Tabela 3.1 - Principais benefícios da aplicação das medidas não convencionais de controle do escoamento para lotes urbanos e desvantagens

Vantagens	Desvantagens
Reduz as interferências na microdrenagem	Necessita de manutenção freqüente
Valoriza a água no meio urbano	Uso recente e escassez de informações
Controla a poluição das águas pluviais	Dependente das condições e características do solo
Melhora a recarga do aquífero	Risco de contaminação do aquífero

Dentre as mais variadas formas de controle do escoamento urbano e da poluição hídrica destacam-se aquelas estruturas que se encontram na micro e macrodrenagem, como renaturalização de canais, bacias de amortecimento de cheias — retenção e de detenção —, reflorestamento das áreas de fundo de vale etc.

As medidas estruturais de atuação na fonte geradora para a melhoria no uso das águas urbanas são aquelas capazes de promover sua infiltração e percolação ou seu armazenamento. Ambas visam melhorar e garantir uma maior proteção dos recursos hídricos.

Dentro do contexto hidrológico, o uso das medidas de controle atuante na fonte exerce funções que podem ser de controle do volume excedente ou das vazões, conforme Souza (2002). Para a redução dos volumes, encontram-se as estruturas de infiltração. Os reservatórios, por sua vez, contribuem para diminuir as vazões a partir da reservação temporária das águas pluviais.

Este trabalho destaca como parte das instalações do local e metodologia adotada, o uso das seguintes medidas compensatórias:

- a) trincheira de infiltração;
- b) teto verde;
- c) microrreservatório de detenção para lotes urbanos;
- d) cisternas ou reservatórios de aproveitamento de águas pluviais;
- e) reúso de águas; e
- f) pavimento permeável e poços de infiltração.

Embora não seja uma medida diretamente considerada no controle do escoamento das águas urbanas, o biodigestor foi adotado como sendo uma alternativa viável, que possibilita, após o tratamento do esgoto sanitário, diferentes formas de reúso não potável. Essa contribuição certamente reduz os percentuais de consumo das águas de abastecimento, valorizando o recurso natural e o ambiente urbano.

Para cada uma das soluções empregadas, foram considerados o ambiente em seu entorno, as condições topográficas do terreno e suas limitações. Fundamentalmente, além dos

objetivos já expostos, o interesse deste trabalho é também despertar a consciência ambiental pela existência do ciclo hidrológico que afeta todos os seres. É, portanto, ativar efetivamente a participação da sociedade em direção à manutenção dos recursos naturais.

A seguir, são apresentadas as principais características, informações e especificações técnicas a respeito de cada uma das medidas anteriormente citadas, com suas respectivas vantagens e desvantagens, bem como o seu processo de operação e manutenção.

3.3.1. Trincheira de infiltração

As estruturas designadas *trincheiras de infiltração* também são denominadas *trincheiras de percolação* ou *trincheiras drenantes*. São estruturas capazes de armazenar a água por um determinado período de tempo, sendo posteriormente infiltrada ou absorvida naturalmente pelo solo.

Com a impermeabilização do solo, as águas pluviais geram o escoamento superficial que caminha em direção à trincheira. Constituídas por valetas com dimensões apropriadas, onde o comprimento predomina sobre a largura, as trincheiras recebem o escoamento das águas pluviais, funcionando como reservatórios de amortecimento. Azzout et al. (1994) afirmam que elas apresentam melhor desempenho em relação aos reservatórios convencionais devido a favorecerem a infiltração da água no solo.

Graciosa (2005) indica que o uso das trincheiras tende a reduzir os volumes e retardar os picos dos hidrogramas de cheia de bacias e micro bacias já urbanizadas.

A Figura 3.2 ilustra esquematicamente o uso de uma trincheira de infiltração como medida compensatória de controle do escoamento urbano.

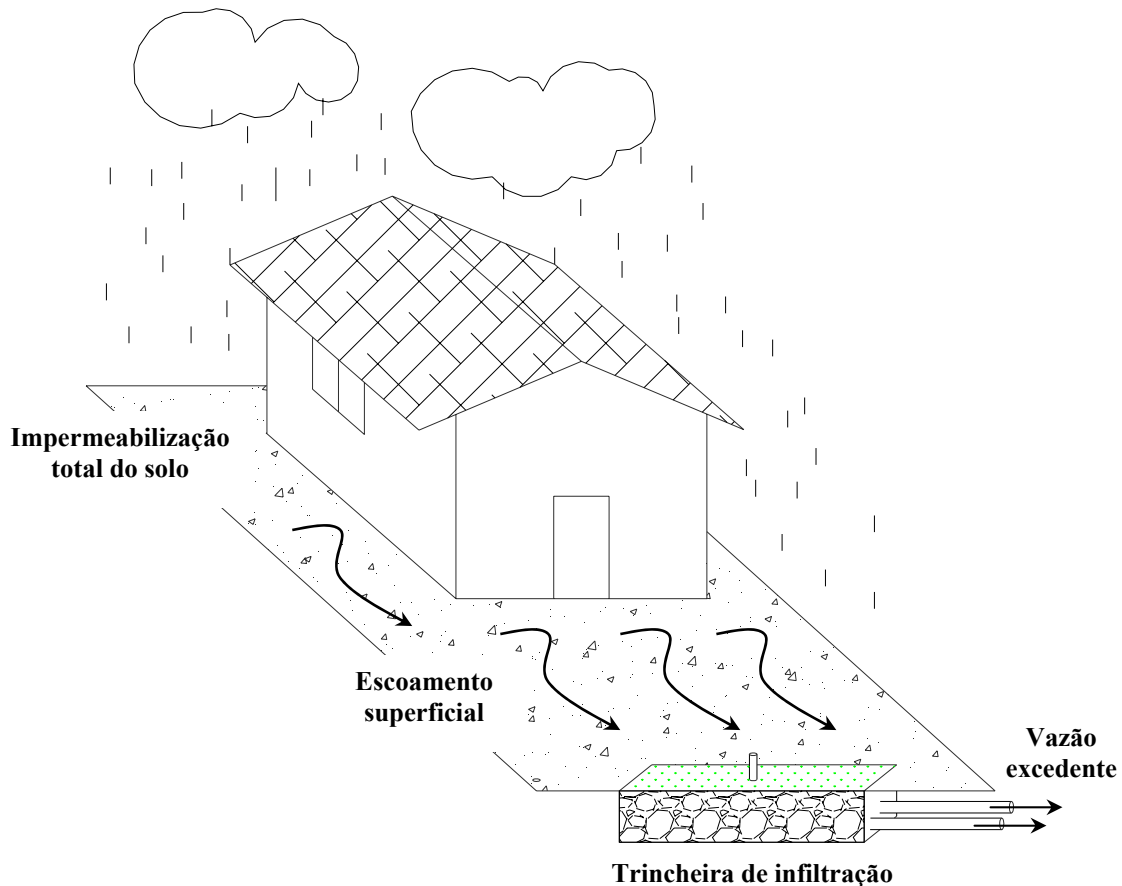


Figura 3.2 - Esquema de uso de medida compensatória denominada *trincheira de infiltração* para o armazenamento das águas pluviais.

A “valeta” de recebimento do escoamento superficial é preenchida por material granular, podendo ser constituída por brita, seixos rolados, entre outros. Sua porosidade deve ser em torno de 35%, dependendo do material utilizado, segundo Souza (2002). É fundamental a colocação de uma manta geotêxtil entre o solo e o material granular, bem como entre a superfície e a trincheira. Este procedimento evita a entrada de partículas finas e serve também para diminuir a presença de elementos contaminantes.

A Figura 3.3 apresenta o detalhamento de uma trincheira através de um corte típico em perspectiva com suas principais características e materiais utilizados. Entende-se por C o comprimento da trincheira, L a largura e H a altura. No caso, as trincheiras podem possuir seção transversal na forma trapezoidal ou retangular.

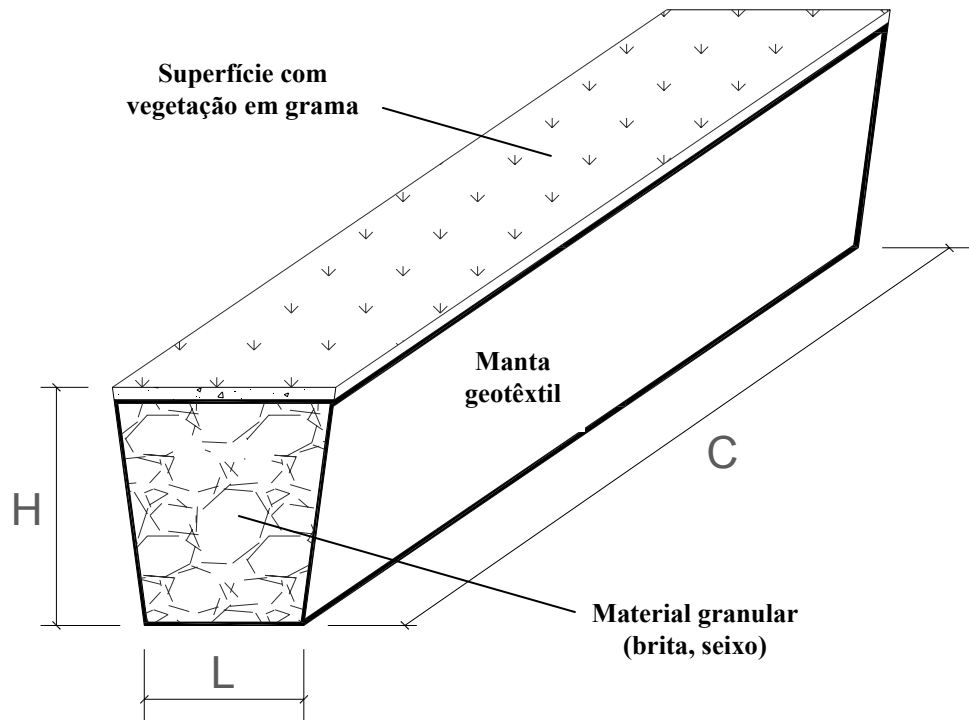


Figura 3.3 - Corte em perspectiva e especificação técnica de uma trincheira de infiltração.

A fim de reduzir a área superficial da base, segundo Mikkelsen et al. (1996), as trincheiras possuem forma tipicamente lineares, sendo longas e estreitas. O autor afirma que as trincheiras preferencialmente possuem esta forma porque, no decorrer do tempo, após a sua operação, a área superficial da base da trincheira tende a sofrer obstruções decorrentes de partículas que escoam por ela. Esta geometria longa e estreita também propicia um melhor aproveitamento da área em planta, adequando-a à superfície drenada pelo lote.

Lawrence et al. (1996) dizem que as trincheiras são estruturas que recebem o escoamento de pequenas áreas de drenagem. Os autores afirmam que é requisito, para elas, a realização de um pré-tratamento da água visando a redução do influxo das partículas sólidas. Esta preliminar ajuda a evitar o processo de colmatação. Para reduzir a interferência deste processo, é recomendado o uso de mantas apropriadas do tipo geotêxtil no recobrimento da área escavada.

Diversos autores concordam que a colmatação dos dispositivos de infiltração modifica as características hidráulicas do meio. Gautier (1998, *apud* SOUZA, 2002) afirma que os materiais em suspensão provenientes do escoamento superficial das águas pluviais são depositados no fundo da trincheira. Neste caminho percorrido, dependendo das condições físicas e ambientais, esses materiais podem penetrar no interior do dispositivo e obstruir a passagem do escoamento. Conseqüentemente, sua condutividade hidráulica fica comprometida.

A maior preocupação dos pesquisadores são os estágios que envolvem o processo de colmatação. Em um determinado momento, considerado como ponto crítico de eficiência do sistema, está a formação de uma película na camada superficial da trincheira, designada *biofilme*. O desenvolvimento desta camada corresponde ao processo de colmatação biológica da trincheira. Ishizaki et al. (1996), ao verificarem a relação entre a carga sólida acumulada e a condutividade hidráulica saturada do meio de pequenas trincheiras, diagnosticaram que a colmatação evoluía rapidamente no primeiro ano, diminuindo a condutividade hidráulica. Após este período, ela atingia um determinado equilíbrio. Seus experimentos foram conduzidos durante dois anos.

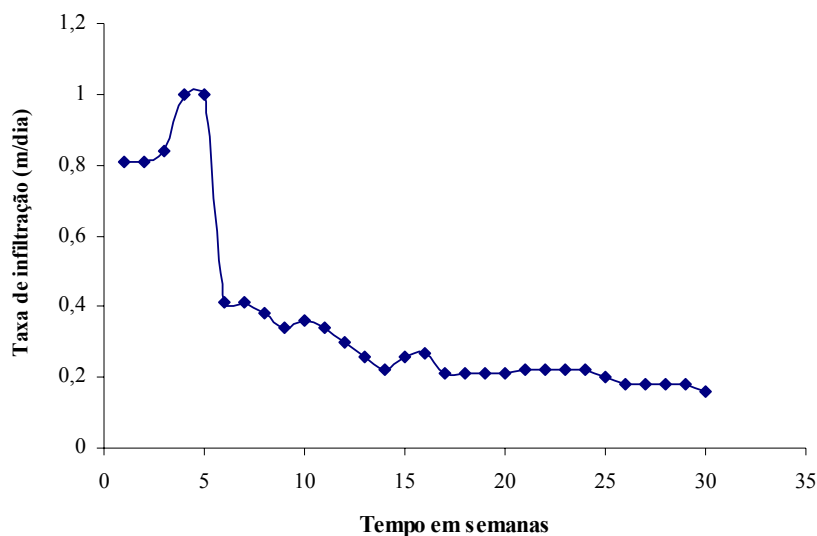


Figura 3.4 - Evolução do processo de colmatação (DETAY et al., 1994, *apud* SOUZA, 2002).

Este processo de formação do biofilme pode ser evitado se o suprimento de água para o dispositivo não for contínuo, uma vez que ele depende do tempo de permanência da água em seu interior. Estando, portanto, a trincheira sujeita a eventos intermitentes de chuva, o ponto crítico de fase da colmatação correspondente à formação do filme biológico torna-se menos susceptível. Quando é somada à baixa entrada de luz no dispositivo, o valor da colmatação biológica nas trincheiras fica ainda menor.

No que diz respeito à manutenção das trincheiras para garantir a sua eficiência, alguns procedimentos devem ser bem observados. A Tabela 3.2 apresenta-os de forma sucinta, a partir de Schueler (1987) adaptado.

Tabela 3.2 - Melhorias no estado de conservação da eficiência de uma trincheira

Tarefa	Objetivo
Inspeção periódica	Verificar possibilidade de colmatação
Reconstituição e corte de cobertura vegetal	Manter filtragem de escoamento pela superfície
Poda de árvores adjacentes	Evitar penetração de raízes
Remoção de sedimentos	Facilitar a penetração do escoamento

Geralmente, os cuidados são poucos, mas devem ser realizados periodicamente, principalmente nas épocas de maior intensidade de chuvas, quando o risco de colmatação é maior.

3.3.1.1. REM: método de dimensionamento da trincheira

A metodologia mais amplamente utilizada para o dimensionamento de uma trincheira de infiltração baseia-se em Jonasson (1984) e Urbobas e Stahre (1993). O método intitula-se *rain envelope method* ou *método de envelopamento pluvial*.

Fundamentalmente, o cálculo prevê o volume de armazenamento que deve ser suficiente para estimar a máxima diferença entre os volumes acumulados de entrada e saída da trincheira.

A equação utiliza simples balanço de massa, onde o volume de armazenamento da trincheira (V_t) deve ser igual ao volume de água precipitado (V_{prec}) sobre a área de contribuição durante o período de tempo considerado menos o volume de água infiltrado (V_{inf}) durante o mesmo período.

3.3.1.1.1. Volume de armazenamento da trincheira

$$V_t = V_{prec} - V_{inf} \quad (3.1)$$

V_t = volume de armazenamento da trincheira;

V_{prec} = volume precipitado sobre a área de contribuição; e

V_{inf} = volume de água infiltrado.

3.3.1.1.2. Volume precipitado

O volume precipitado V_{prec} pode ser calculado a partir da Equação 3.2:

$$V_{prec} = i \cdot t \cdot A_d, \quad (3.2)$$

sendo

A_d = área de drenagem conectada à trincheira de infiltração baseada na taxa de ocupação média do lote (m^2);

i = intensidade de precipitação (m/s); e

t = duração da precipitação (segundos).

O valor de i pode ser obtido com base na curva de intensidade-duração-freqüência, da seguinte forma:

$$i = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d} \quad (3.3)$$

i = intensidade de precipitação (mm/h);

T = período de retorno (anos);

t = duração da precipitação (minutos); e

a, b, c e d = parâmetros ajustados empiricamente.

Para o município de São Carlos/SP, conforme Barbassa (1991), tem-se:

$$i = \frac{1519 \cdot T^{0,236}}{(t + 16)^{0,935}} \quad (3.4)$$

O valor precipitado também pode ser estimado de acordo com a fórmula do método racional, a partir da seguinte Equação 3.5:

$$Q = 0,278 \cdot C_e \cdot i \cdot A \quad (3.5)$$

Q = vazão de projeto (m^3/s);

i = intensidade de precipitação (mm/h);

C_e = coeficiente de escoamento (tabelado); e

A = área de contribuição (km^2).

Para o cálculo do valor precipitado deve-se levar em consideração o coeficiente de escoamento C_e , que varia conforme a impermeabilização do solo. Wilken (1978) adota a Tabela 3.3 para os coeficientes superficiais.

Tabela 3.3 - Valores de C_e para superfícies de escoamento

Superfície	Coefficiente C_e
Telhados	0,70 a 0,95
Pavimentos	0,40 a 0,90
Quintais e lotes vazios	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados	0 a 0,25
Passeios em pedregulho	0,15 a 0,30

3.3.1.1.3. Volume infiltrado

Mikkelsen e Jacobsen (1993) propõem a equação de Philip para estimar, com ajustes, o volume infiltrado, com base na Equação 3.6.

$$i_{ph} = \frac{C}{2\sqrt{t}} \quad (3.6)$$

t = tempo em segundos;

i_{ph} = taxa de infiltração no instante t ($m^3/s \cdot m^2$); e

C = sortividade do solo.

Embora o processo efetuado nas trincheiras seja multidimensional, uma análise dada pela equação de Philip (Equação 3.6) permite o dimensionamento do volume da estrutura. Para esta estimativa de cálculo, considera-se a vazão de infiltração correspondente ao tempo de precipitação. Para a infiltração acumulada até um determinado instante t , calcula-se:

$$I = C\sqrt{t} \tag{3.7}$$

t = tempo em segundos;

I = infiltração acumulada até o instante t (m^3/m^2); e

C = sortividade do solo.

A grandeza C é relacionada com a capacidade do solo, considerado homogêneo, de absorver água em relação à sua umidade inicial.

Graciosa et al. (2005), usando dados experimentais com solos do município de São Carlos/SP e Itirapina/SP, obtiveram valores a partir da equação de Philip (Equação 3.6) para dois tipos de solo. Conforme os autores, a equação de Philip tende a subestimar o volume infiltrado devido a considerar o processo de colmatção de fundo da trincheira. Na prática, isto provavelmente não acontece. Na ausência de estudos que possam prever uma estimativa de volume infiltrado mais coerente com a realidade, esta hipótese crítica de valor subestimada é aceitável. Os valores de ajustes do parâmetro C encontram-se na Tabela 3.4, a seguir.

Tabela 3.4 - Parâmetro de ajuste da Equação de Philip

Tipo de Solo	C (m ³ /s/m ²)
A	0,00571
B	0,00698

A área de infiltração $A_{inf.}$ é estimada a partir de hipóteses assumidas por Jonasson (1984):

$$A_{inf.} = 2 \cdot L \cdot \frac{H}{2} = LH \quad (3.8)$$

L = comprimento da trincheira; e

H = altura útil da trincheira.

Considera-se desprezível a superfície lateral de infiltração nas extremidades da trincheira e, após algum tempo de uso, considera-se também que a área superficial da base da trincheira torna-se totalmente colmatada.

Portanto, o volume infiltrado $V_{inf.}$ baseia-se na Equação 3.9:

$$V_{inf.} = I \cdot L \cdot H \quad (3.9)$$

L = comprimento da trincheira (m);

H = altura útil da trincheira (m); e

I = infiltração acumulada até o instante t (m³/m²).

3.3.1.1.4. Volume efetivo de armazenamento

Este volume $V_{a,ef}$ é estimado a partir da Equação 3.1, da qual substituindo-se os devidos termos correspondentes, obtém-se a Equação 3.10:

$$V_{a,ef} = (i \cdot t \cdot A_d) - (I \cdot L \cdot H) \quad (3.10)$$

i = intensidade de precipitação (m/s);

t = tempo (s);

A_d = área de contribuição conectada à trincheira (m²);

I = infiltração acumulada até o instante t (m³/m²);

L = comprimento da trincheira (m); e

H = altura útil da trincheira (m).

Ou seja, o volume de armazenamento da trincheira é o volume precipitado sobre a área de contribuição, atenuado pela capacidade de infiltração da trincheira. Considerando o preenchimento com brita e porosidade ϕ_b , o volume da trincheira baseia-se na Equação 3.11:

$$V_t = \frac{[(i \cdot t \cdot A_d) - (I \cdot L \cdot H)]}{\phi_b} \quad (3.11)$$

A Tabela 3.5 apresenta a porosidade de alguns materiais potencialmente adotados no preenchimento da trincheira.

Tabela 3.5 – Porosidade para materiais interiores da trincheira

Tipo de solo	Porosidade (%)
Brita grossa	30
Cascalho uniforme	40
Brita graduada (< ¼”)	30
Areia	25
Seixo rolado	15 a 25

(URBONAS e STAHRÉ, 1993)

Os cálculos efetuados para a determinação do volume afluyente V_{af} ou de entrada na trincheira basearam-se no método racional (Equação 3.12).

$$V_{af} = P \cdot \frac{(\sum Ce_1 \cdot A_1 + Ce_n \cdot A_n)}{A_1 + A_n} \quad (3.12)$$

V_{af} = volume afluyente (m³);

P = precipitação no intervalo (m);

Ce = coeficiente de escoamento [adimensional]; e

A = área de drenagem (m²).

O volume de armazenamento V_{armaz} na trincheira foi obtido a partir do monitoramento de nível registrado no Poço 2, localizado na seção jusante da trincheira. Graciosa et al. (2007) calcularam este volume considerando o nível d'água distribuído em toda a trincheira, incluindo a sua declividade (Equação 3.13).

$$V_{armaz}(t) = \left[\frac{2 \cdot \left[\frac{h(t)}{h_0} \cdot (B - b) \right] + b}{2} \cdot h(t) \right] \cdot \frac{h(t)}{h_0} \cdot L \cdot \frac{l}{2} \cdot \phi_b \quad (3.13)$$

$h(t)$ = nível medido no poço de monitoramento (L);

h_0 = altura da trincheira (m);

b = base menor da seção transversal da trincheira (L);

B = base maior da seção transversal da trincheira (L);

L = comprimento da trincheira (L); e

ϕ_b = porosidade da brita.

A Figura 3.5 ilustra, esquematicamente em corte longitudinal, o aspecto da trincheira e o efeito da declividade sobre o cálculo do volume de reservação ou de armazenamento.

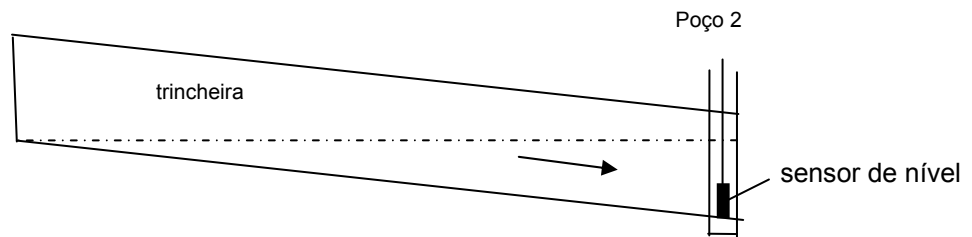


Figura 3.5 - Corte longitudinal da trincheira: efeito da declividade sobre o cálculo do volume de armazenamento.

O volume efluente V_{ef} foi obtido através da diferença entre os volumes afluente e de armazenamento (Equação 3.14).

$$\Delta V_{armaz} = V_{af} - V_{ef} \quad (3.14)$$

ΔV_{armaz} = variação de volume na trincheira (L3);

V_{af} = volume afluente à trincheira (L3); e

V_{ef} = volume efluente à trincheira (L3).

O volume efluente também pode ser definido como sendo o volume de infiltração. No entanto, devem-se prever as contribuições laterais, conforme Equação 3.15.

$$V_{ef} = V_{inf} + \Delta V_{lat} \quad (3.15)$$

V_{ef} = volume efluente à trincheira (L3);

V_{inf} = volume infiltrado (L3); e

ΔV_{lat} = uma contribuição lateral de volume para a trincheira (L3).

3.3.1.2. Equação de Richards

Esta equação ou método requer o conhecimento da curva de retenção do solo e da relação da condutividade hidráulica de acordo com a umidade deste solo. A metodologia prevê não somente o cálculo dos volumes infiltrados instantaneamente, como também os valores de umidade ao redor da malha da seção transversal da trincheira. Portanto, são propriedades bastante específicas e de difícil obtenção, principalmente pelo difícil acesso de correlação entre solos distintos, devido à variabilidade das estações do ano, chuvas sucessivas, períodos incertos de irrigação etc.

Graciosa et al. (2005) afirmam que esta estimativa é válida para prever o comportamento de um sistema descentralizado em grande escala. No caso, as estruturas de

infiltração podem ser estimadas com base na equação de Richard, por exemplo, para áreas de loteamentos, estacionamentos, parques e outros.

Em particular, este trabalho teve como estimativa de dimensionamento da trincheira, o método de envelopamento pluvial ou *rain envelope method*, por se tratar de uma metodologia mais simples e de aplicação direta a partir dos dados de caracterização do lote e da IDF da cidade de São Carlos/SP.

3.3.2. Teto verde

As estruturas conhecidas como *teto verde* são aquelas capazes de suportar uma determinada vegetação sobre o telhado de uma edificação. Existe uma infinidade de nomes para este tipo de construção, sendo as mais conhecidas: coberturas verdes, telhados verdes, ecotelhados, telhados vivos, *green roofs* e biocoberturas. Para facilitar a leitura, daqui em diante, definem-se apenas como *teto verde* ou *telhado verde* as estruturas que possuem jardim em sua cobertura.

3.3.2.1. História antiga dos tetos verdes

Historicamente, os tetos verdes possuem seus primeiros registros na época da Babilônia, sul do Iraque, no século VI a.C. Mais reconhecidos como Jardins Suspensos da Babilônia, os “tetos verdes” da época foram considerados como uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo, sendo construídos pelo rei Nabucodonosor para agradar e consolar a sua esposa preferida, Amitis (Figura 3.6).



Figura 3.6 - Imaginário dos Jardins Suspensos da Babilônia, construído no século VI a.C.

Segundo diversos historiadores, os terraços babilônicos abrigavam, além de árvores, flores tropicais e alamedas de altas palmeiras. Eles foram construídos uns sobre os outros e eram irrigados pela água bombeada do rio Eufrates. Na *Wikipedia, a enciclopédia livre* (JARDINS, 4 jan. 2007), pode-se encontrar a afirmação de que os terraços eram todos arborizados e apoiados em colunas de 25 a 100 metros de altura.

3.3.2.2. Estrutura e composição

Os tetos verdes compreendem estruturas de laje, geralmente em concreto armado, capazes de suportar, além de seu peso próprio, um determinado volume de terra com vegetação e uma parcela de água da chuva e da irrigação que precipita e escoar sobre eles. São detalhes que, embora sejam considerados aparentemente simples, necessitam de atenção no projeto executivo.

Construtivamente, o perfil de um telhado verde envolve camadas mistas, que variam conforme a tecnologia adotada. Inúmeras técnicas são descritas e encontram-se gradualmente

em processo de aprimoramento e desenvolvimento. No entanto, a composição básica estrutural dos tetos verdes deve possuir primariamente os seguintes materiais: estrutura de apoio impermeabilizada, geomanta, substrato de terra e vegetação, conforme a Figura 3.7.

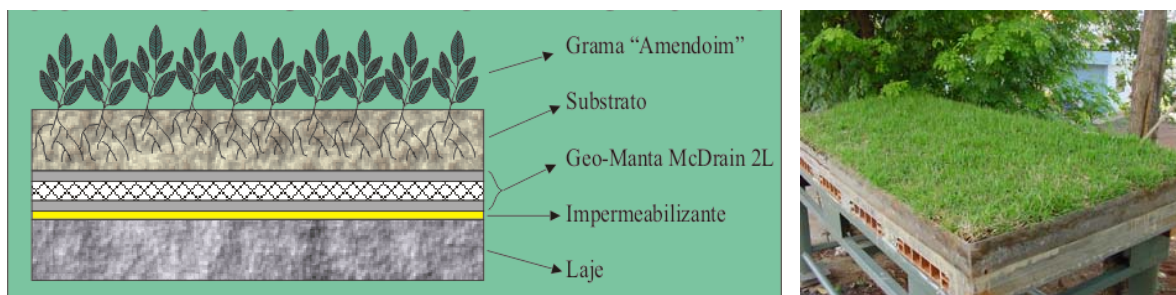


Figura 3.7 – Perfil básico de um telhado verde com distribuição de camadas.

Especificamente, cada elemento desta composição possui basicamente como finalidade:

- a) *laje*: fornecer estrutura de apoio principal da cobertura verde;
- b) *camada impermeabilizante*: evitar a infiltração da água pela laje;
- c) *geomanta*: impedir a passagem de substratos e regular a retenção de água;
- d) *substrato*: ser elemento-suporte da vegetação para a formação de nutrientes; e
- e) *vegetação*: a cobertura vegetal propriamente dita.

Como dito, os telhados verdes possuem diversas técnicas de construção, o que pode variar conforme as condições do ambiente local e das espécies vegetais plantadas. Segundo a Building Logics (2002), a tecnologia dos tetos verdes está sendo aplicada de forma crescente a cada dia. A melhoria dos materiais utilizados e o aperfeiçoamento das técnicas construtivas modernizaram de tal modo a estrutura, que, em muitos países, principalmente na Europa, já é bastante comum este tipo de cobertura.

Kirby (2006) observa que o conjunto da estrutura do telhado verde deve incorporar com acuidade uma membrana de impermeabilização, a fim de garantir uma melhor estabilidade às áreas molháveis e fornecer uma aderência completa ao substrato. A diferença principal entre uma camada do telhado e as membranas impermeabilizantes é que estas possuem habilidade para resistir à pressão hidrostática. Entretanto, o autor salienta que o conjunto dos tetos verdes não deve incluir as estruturas que possuem um sistema de proteção d'água e que podem ser identificados como telhados impermeabilizantes.

A construção dos telhados verdes necessita, portanto, de um conjunto de procedimentos específicos que devem ser compatíveis, principalmente, com a escolha da vegetação sobreposta. Isto devido ao fato de que as camadas devem ser projetadas para resistir à contaminação de fertilizantes e outros produtos químicos usados no período da adubação e de manutenção do plantio.

Para tanto, é recomendado o uso de plantas que exigem pouco substrato e menor volume de irrigação, a fim de minorar os riscos inerentes ao peso da estrutura e a própria constituição vegetal do telhado. Em algumas cidades no Rio Grande do Sul, por exemplo, conforme reportagem do caderno "Ambiente" do *Jornal Zero Hora* (COSTA, 2006), várias espécies de xerófitas estão sendo plantadas sobre telhados constituídos de módulos de cimento. Similares aos cactos, as xerófitas economizam água e podem sobreviver em condições adversas, principalmente por não necessitarem de regas e podas constantes.

Johnston e Newton (2004) apresentam como características de telhados verdes intensivos: solos profundos, sistema de irrigação e condições favoráveis de crescimento das plantas. Esses telhados fornecem: um grande atrativo visual, uma reserva de elementos biodiversificados e boas propriedades de insolação. No entanto, ressaltam a necessidade de manutenção, o custo inicial e a especificação técnica quanto ao sistema de drenagem e irrigação. Extensivamente, os telhados verdes se caracterizam por possuírem solos rasos,

baixa manutenção e pouca irrigação, fornecendo ótimas vantagens, como baixo peso estrutural, pouca manutenção e custo relativamente barato. Por outro lado, possuem escolha limitada das espécies a serem plantadas e pequeno acesso para opções de recreação.

3.3.2.3. A climatização ou o conforto térmico proporcionado pelos tetos verdes

Dentre os diferentes benefícios gerados pelos telhados verdes, o conforto térmico é aquele que mais é valorizado ou pesquisado diante dos efeitos da urbanização. Conforme Feijó (2006), a utilização dos telhados verdes pode amenizar o superaquecimento urbano, principalmente nas condições das denominadas *ilhas de calor*. A água acumulada nos substratos permite consumir parte da energia do ambiente a partir da evapotranspiração.

Kolb (2003), com base nos resultados realizados na cidade de Veitshöchheim, na Alemanha, comprovou que os tetos verdes são capazes de reduzir significativamente a demanda por refrigeração, quando comparados com os telhados convencionais sem cobertura verde. Vegetação composta por gramíneas e pequenos arbustos instalados em coberturas podem reduzir a amplitude térmica de 60% a 90%. Experimentando temperaturas de até 30 °C, o autor verificou que a vegetação na laje pode determinar diversos graus nas temperaturas de pico em função da densidade e da altura das plantas.

A Figura 3.8 ilustra o comportamento térmico sobre as estruturas com cobertura verde. Comparativamente, Kolb (2003) avaliou também o aquecimento e a refrigeração sob vegetação de arbustos sobre um telhado convencional.

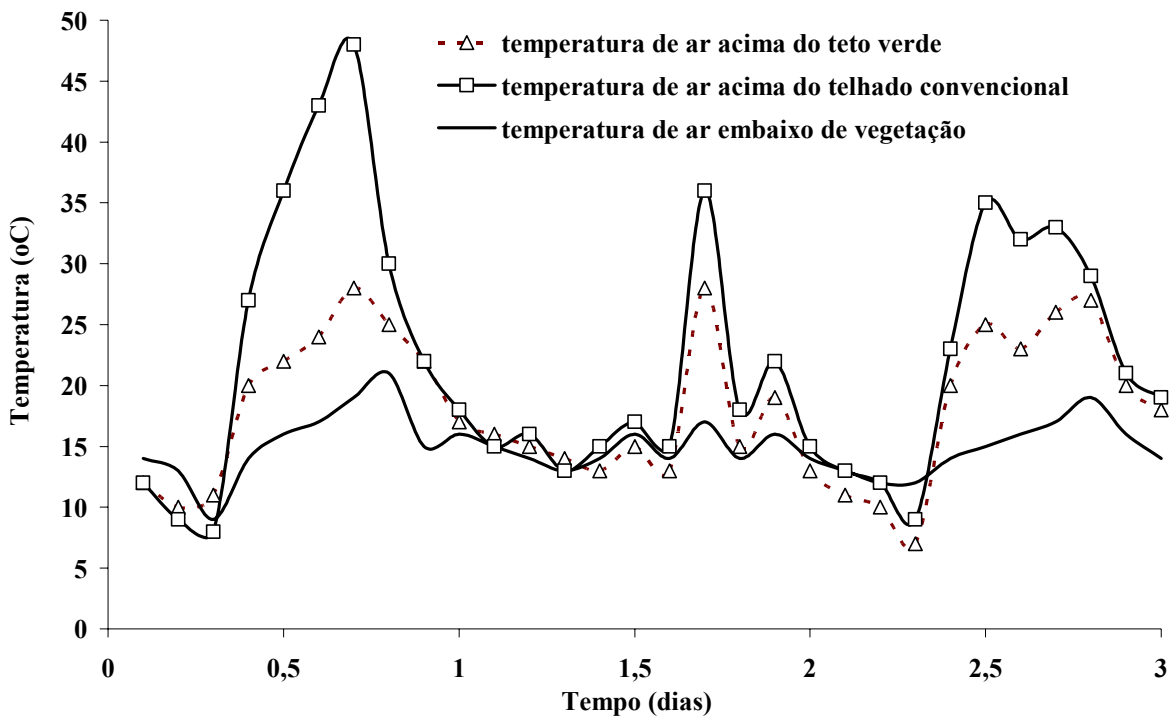


Figura 3.8 – Estudo térmico de influência da vegetação em telhados verdes comparada com as estruturas de cobertura convencionais (KOLB, 2003, adaptado).

Lima (2005) confirma que há uma melhoria na temperatura interna da edificação a partir do uso de telhados verdes ou CVLs. Ao avaliar as condições térmicas no interior do ambiente durante um dia completo, ou 24 horas, o autor verificou que, até por volta das 10h da manhã, a temperatura interna, devido ao uso de tetos verdes, é superior à de outros tipos de telhado. No entanto, a partir deste horário até por volta das 21 horas, a temperatura da edificação é inferior em quase até 3 °C, quando comparada, por exemplo, com a temperatura gerada pelas telhas de material reciclado.

A Figura 3.9 apresenta os resultados desse estudo, que contempla seis diferentes tipos de cobertura.

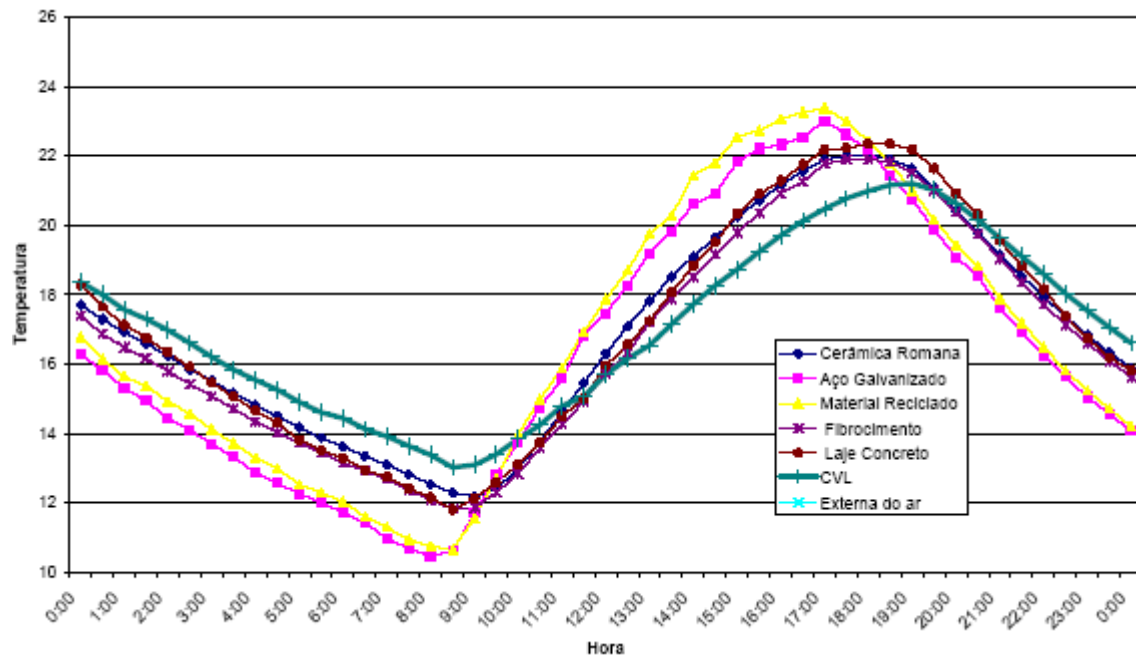


Figura 3.9 – Temperatura interna gerada devido ao uso de diferentes tipos de cobertura.

Lopes (2006), ao avaliar termicamente os efeitos do uso de telhados verdes, observou que a temperatura interna em células testes era aproximadamente 7 °C inferior à temperatura do ar externo, caracterizando um relativo amortecimento térmico gerado pela estrutura. A autora informa que outros fatores contribuem para a manutenção térmica, como velocidade do vento, fluxo da água de drenagem sobre o telhado verde e outros. Conforme Porsche e Köhler (2003), os fatores que podem influenciar a proteção térmica são divididos nos fatores de transferência de calor e de convecção.

3.3.2.4. A relação do escoamento superficial com os tetos verdes

É imprescindível levar em consideração os aspectos relacionados à drenagem dos tetos verdes. Por se tratar de uma estrutura com potencial de redução do escoamento superficial, os tetos verdes contribuem para diminuir os impactos do despejo das águas

pluviais na micro e macrodrenagem. Essas estruturas são capazes de retardar o escoamento devido ao aumento da infiltração e do acréscimo da evapotranspiração. A Figura 3.10 ilustra o comportamento hidrológico dos tetos verdes comparado com uma estrutura de cobertura tradicional.

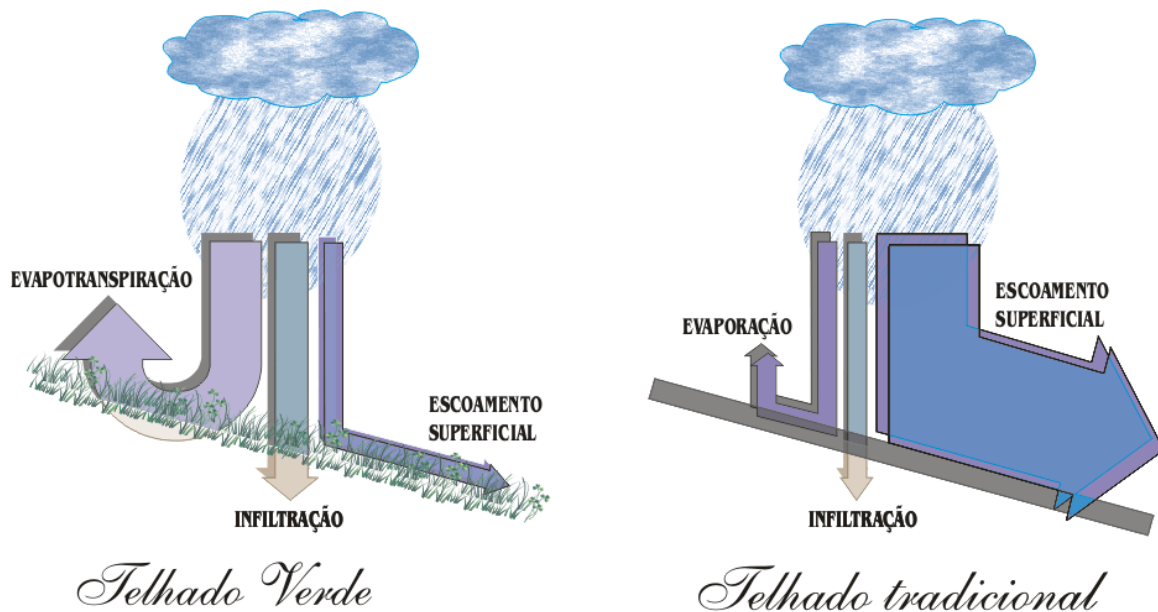


Figura 3.10 - Balanço hídrico entre um teto verde e um telhado convencional.

Almeida Neto et al. (2005), ao estudar os impactos causados pelas coberturas convencionais, afirmam que os telhados verdes em áreas urbanas oferecem não somente melhores condições térmicas na edificação, mas também uma maior capacidade de absorção da água pluvial. Conseqüentemente, pode ser considerado como fator determinante para reduzir as inundações urbanas, principalmente quando aplicados em escalas maiores, como áreas cobertas de estacionamento, shoppings, escolas e condomínios.

Ao avaliar as condições do escoamento em telhados verdes, Kolb (2003) verificou que, para picos de drenagem (ϕ), onde ocorre o maior índice pluviométrico, a relação do amortecimento do volume escoado entre uma cobertura com vegetação e outra sem vegetação

foi da ordem de 75%. A espessura do substrato e a escolha das espécies plantadas influenciam consideravelmente nos resultados do escoamento gerado, conforme ilustra a Figura 3.11.

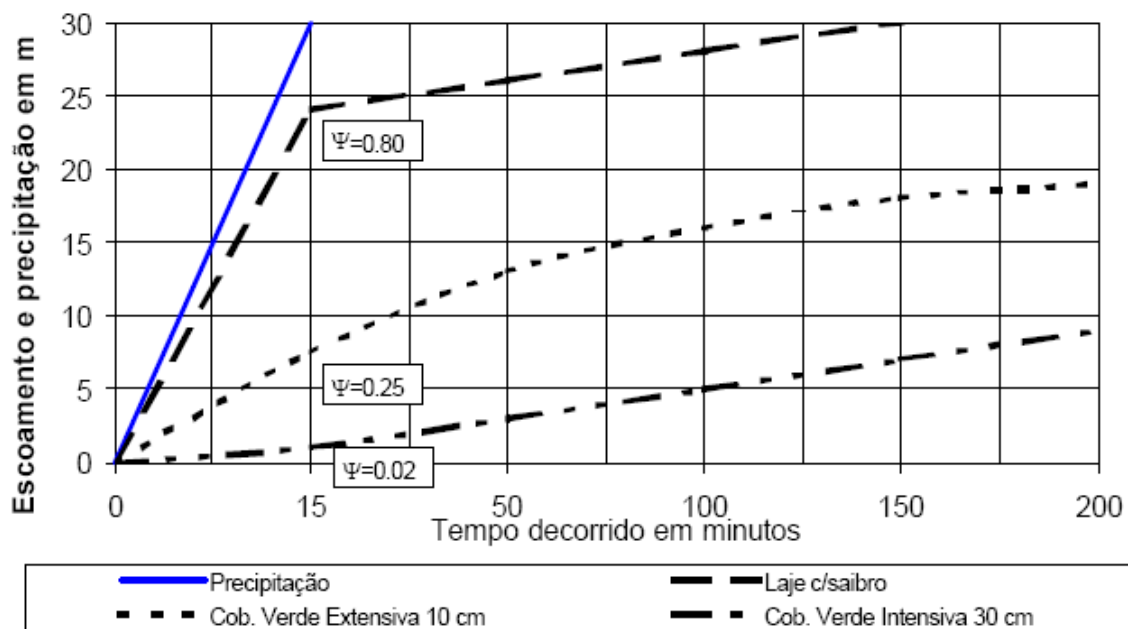


Figura 3.11 - Escoamento e picos de drenagem de um telhado verde e de outras coberturas (KOLB, 2003).

Outro aspecto de interesse no controle do escoamento em telhados verdes é a sua declividade. Estudos comprovam que uma variação de 80% na inclinação de tetos verdes ocasiona um acréscimo não superior a 18% na geração do escoamento. Kolb (2003) apresenta estes resultados com base no escoamento gerado a partir dos picos de drenagem (φ). Os valores encontrados para o escoamento variam muito pouco quando há grandes mudanças na declividade do telhado verde.

A Figura 3.12 ilustra o comportamento para diferentes inclinações de coberturas verdes em relação ao escoamento. O autor utilizou uma camada de vegetação de 10 cm e precipitação de 27 mm. Ressalta-se que, para declividades maiores que 20%, é recomendado, para a implantação de telhados verdes, o uso de medidas de proteção contra eventuais deslizamentos de substrato e vegetação.

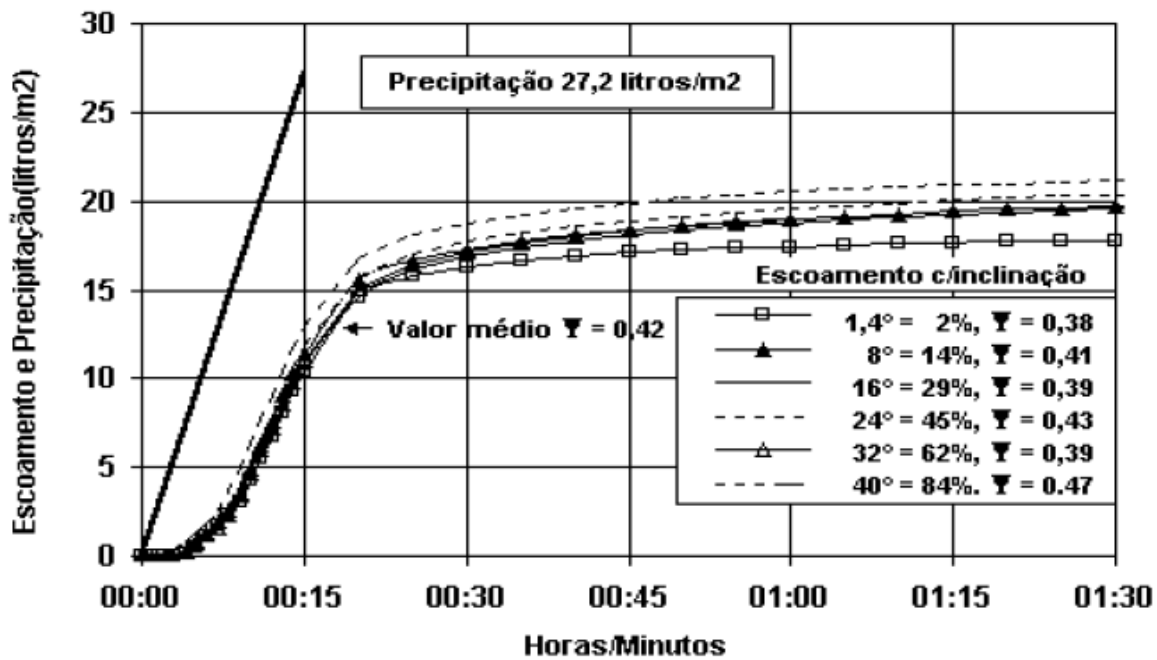


Figura 3.12 - Condições do escoamento sobre o telhado verde a partir de diferentes inclinações (KOLB, 2003).

Köhler et al. (2003) afirmam que cerca de 75% das chuvas precipitadas são capazes de ficar retidas no substrato vegetal das coberturas verdes.

Os mesmos autores ressaltam que é de extrema importância a seleção das espécies a fim de garantir a durabilidade da vegetação. Cactáceas e plantas suculentas são as mais recomendadas e resistentes em épocas de estiagens para o plantio em tetos verdes.

Implantar telhados verdes, entre outros benefícios gerados, também serve de captação para cisternas, visando o aproveitamento de águas de chuva. Cunha (2004), a partir de um experimento hidrológico em coberturas verdes, concluiu que o uso destas estruturas pode acumular cerca de 14 mm a mais do que uma cobertura com telhas convencionais.

Os estudos do telhado verde, para cálculo das condições do escoamento, devem levar em consideração o tipo de solo utilizado, a fim de se estimar tanto o volume de vazios como a capacidade de armazenamento máximo e, conseqüentemente, o peso máximo

estrutural a ser suportado. A Tabela 3.6 (KOCHMANN et al., 1999) propõe como porosidade do solo valores estimados entre 48% a 58%.

Tabela 3.6 – Porosidade do solo para áreas agriculturáveis

Profundidade da amostra (cm)	Densidade do solo (g cm^{-3})	Porosidade do solo (%)		Densidade do solo (g cm^{-3})
		Macroporos	Microporos	
0 - 5	1,2	16,21	41,72	57,93
5 - 10	1,34	8,1	44,35	52,45
10 - 15	1,46	3,27	44,99	48,26

(KOCHMAN et al., 1999)

Outra particularidade a considerar na implantação dos telhados verdes em áreas residenciais, na geração do escoamento superficial, deve-se à sua posição geográfica no terreno. Ragab et al. (2003) analisaram experimentalmente em telhados convencionais esta característica, somada à sua inclinação, quantificando os impactos da implantação, e concluíram que o escoamento para telhados com inclinação de 50° é até 40% maior do que para telhados com inclinação de 22° . Para a região pesquisada em Crowmarsh Gifford, próximo a Wallingford, Oxfordshire, região Sudeste da Inglaterra, os resultados indicaram que os telhados com face Nordeste geram um escoamento 30% maior do que telhados com face sul considerando a mesma declividade.

A Figura 3.13 ilustra o comportamento do escoamento gerado para diferentes inclinações e posição geográfica do telhado convencional.

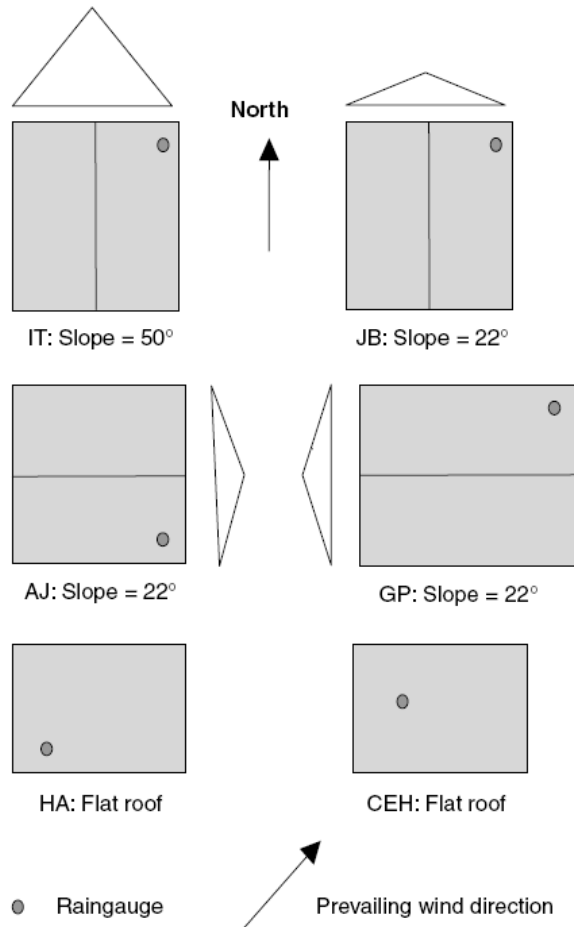
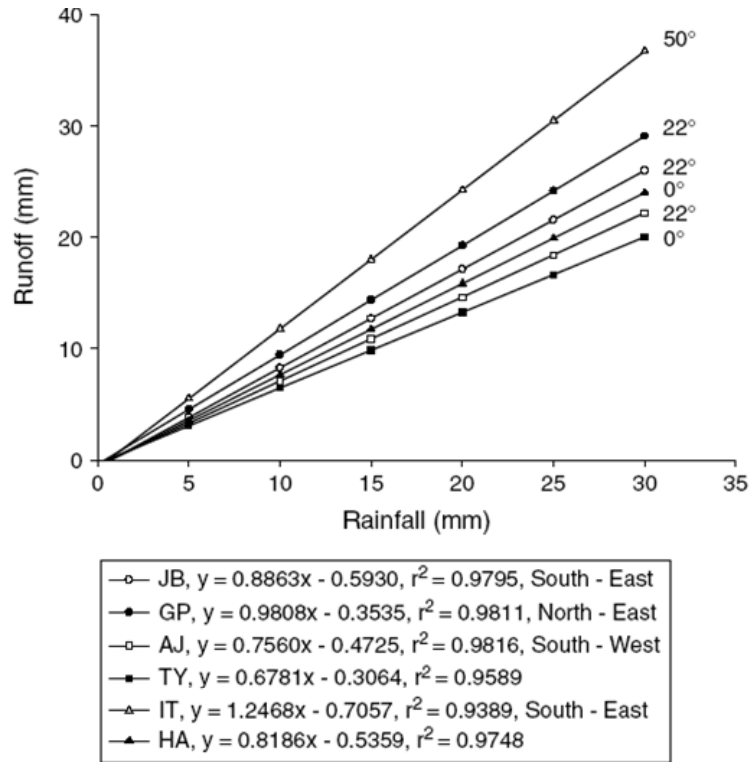


Figura 3.13 - escoamento sobre telhados convencionais a partir de diferentes inclinações e posição geográfica (RAGAB et al., 2003).

Gash et al. (2007) avaliaram o escoamento gerado em telhados residenciais a partir de um modelo desenvolvido para estimar a evaporação pela área do dossel de florestas. Segundo os autores, o processo de evaporação do escoamento superficial em telhados residenciais é suficientemente similar ao modelo de evaporação gerado pelo dossel das florestas; portanto, pode ser utilizado para estimar o escoamento das áreas de coberturas (Figura 3.14).

A determinação do escoamento a partir deste modelo e a sua utilização correspondente em áreas de telhados sugerem aos autores que é possível dimensionar tanques de armazenamento e reservação de água, conforme Fewkes (1999), que tem utilizado esta abordagem para representar uma série de curvas de projeto.

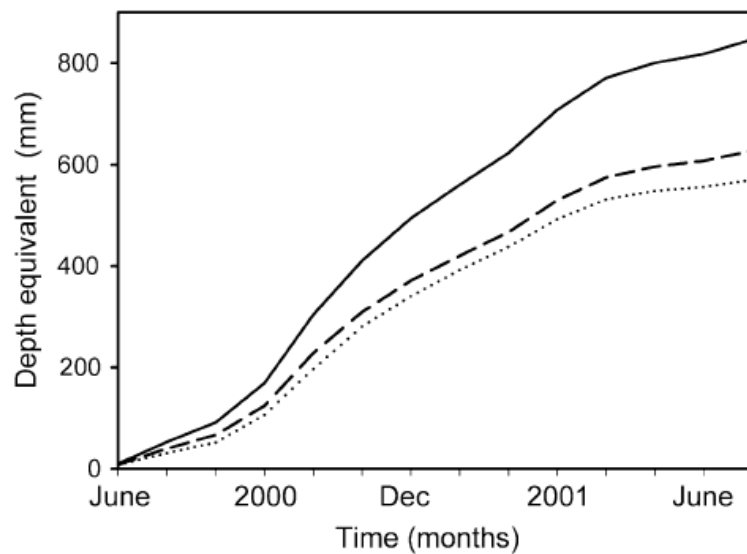


Figura 3.14 - Escoamento acumulado sobre telhados convencionais para dados observados (---) e simulados (....) pelo modelo de Gash. A precipitação é dada por "—" (GASH et al., 2007).

De acordo com estudos realizados por FLL (2002), k o coeficiente de runoff para telhados verdes pode variar conforme sua inclinação e espessura da camada de solo com vegetação. A Tabela 3.7 apresenta os resultados obtidos para espessuras entre 2 cm e acima de 50 cm de solo e inclinações médias, inferiores e superiores a 15° . Os coeficientes estimados foram baseados em eventos com 300 l/s.ha em telhados previamente secos durante 24 horas.

Tabela 3.7 – Coeficiente de escoamento para telhado verde de acordo com sua espessura e inclinação

Espessura e (cm)	Coeficiente de Runoff para teto verde	
	Inclinação até 15°	Inclinação acima de 15°
$e \geq 50$	0,1	-
$25 \leq e < 50$	0,2	-
$15 \leq e < 25$	0,3	-
$10 \leq e < 15$	0,4	0,5
$6 \leq e < 10$	0,5	0,6
$4 \leq e < 6$	0,6	0,7
$2 \leq e < 4$	0,7	0,8

(FLL, 2002)

3.3.2.5. Desenvolvimento de políticas públicas para telhados verdes

A urgência na tomada de decisões para combater o crescimento urbano de forma acelerada transformou a prática dos telhados verdes em uma ferramenta para encorajar o desenvolvimento de projetos de baixo impacto hidrológico.

Ngan (2004), através do relatório *Green roof policies: tools for encouraging sustainable design* [Políticas para telhados verdes: instrumento de incentivo para projetos sustentáveis], oferece algumas recomendações para o desenvolvimento de políticas que adotam telhados verdes como prática utilizada em diversos países. Segundo o autor, o que precisa estar definido claramente são os objetivos da política, como, por exemplo, definir os benefícios esperados na construção dos telhados verdes. A decisão das áreas a serem afetadas politicamente e os diferentes tipos de construções devem ser motivados por diferentes tipos de incentivos. Pimentel et al (2008), no âmbito do Projeto de Pesquisa Hidrociudades, iniciaram pesquisas envolvendo o cultivo de hortaliças sobre telhados no Estado do Rio de Janeiro, buscando desenvolver a aplicação de novas tecnologias incrementando a melhoria da qualidade de vida e geração de renda.

A cidade de Berlin, na Alemanha, a partir do Courtyard Greening Program [Programa Pátio Verde], reembolsou 50% de cada 25 e 60 euros gastos por metro quadrado ($\text{€}/\text{m}^2$) em instalações de telhados verdes em residências.

O gráfico da Figura 3.15 corresponde ao desenvolvimento histórico das áreas subsidiadas em incentivo para a construção de telhados verdes na cidade de Linz, na Áustria, conforme Linz (2002). O auxílio totalizou quase 5 milhões de euros, que foram repassados para a construção de mais de 268.000 m^2 de tetos verdes.

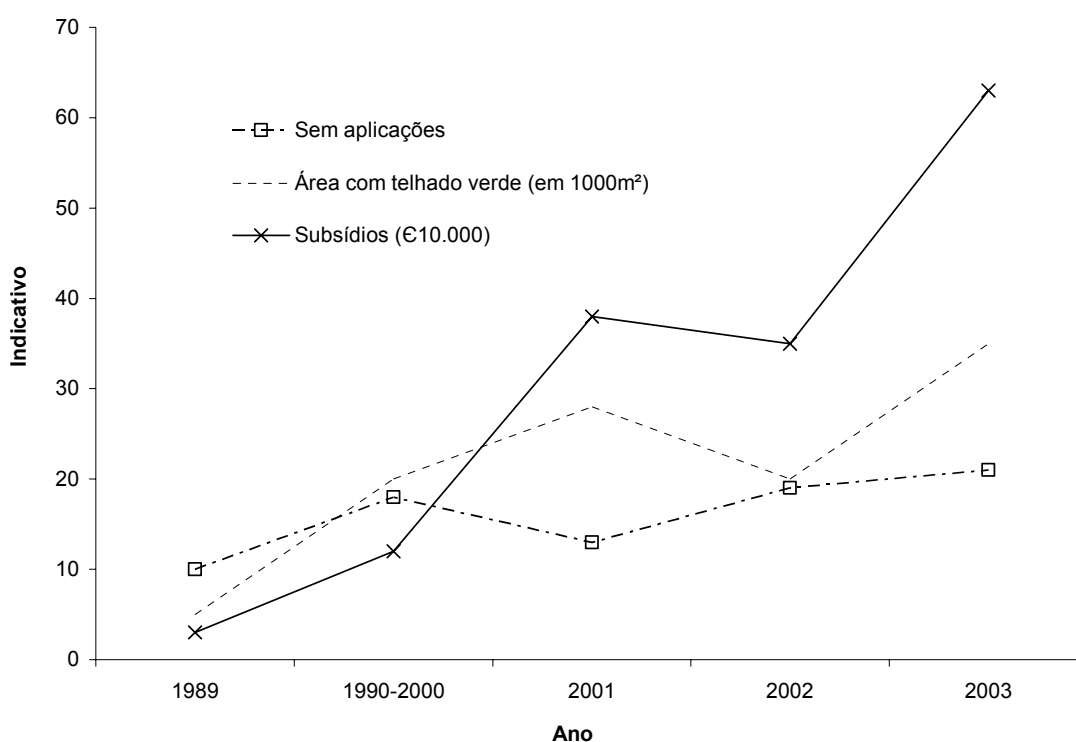


Figura 3.15 - Desenvolvimento de subsídios para telhados verdes (MAURER, 2004, *apud* NGAN, 2004).

3.3.3. Microrreservatórios de retenção para lotes urbanos

A hospedagem de microrreservatórios de água de chuva em lotes urbanos, visando reservá-la e, posteriormente, aproveitá-la ou descartá-la para a rede pluvial é uma prática

antiga e econômica. Relatos de pessoas¹ do início do século XX informam que elas utilizavam baldes ou bacias para o armazenamento da água da chuva com a finalidade de lavar calçamentos, irrigar jardins e para outras atividades. O que estas pessoas não sabiam é que elas utilizavam de um recurso capaz de atenuar os efeitos crescentes do escoamento superficial gerado pela urbanização.

Atuando como dispositivos capazes de armazenar a água precipitável, os microrreservatórios de *detenção* diferem dos dispositivos de *retenção* por serem projetados para diminuir o pico do volume das cheias urbanas e por serem capazes de se manter secos durante um determinado período. Tucci (2005) define os reservatórios de retenção como aqueles que possuem lâmina d'água precipitável para controlar o volume do escoamento e para análise de qualidade da água. O autor apresenta três tipos de medidas de controle que podem ser classificadas conforme o componente de atuação na drenagem:

- a) controle na fonte: nível de lote e primária de desenvolvimento;
- b) controle na microdrenagem: medidas em loteamentos; e
- c) controle na macrodrenagem: soluções em rios.

Segundo McCuen e Moglen (1988, *apud* GENZ, 1994), a principal intenção das bacias de detenção é diminuir as conseqüências hidrológicas da perda do armazenamento natural da bacia pela urbanização. Os critérios de gerenciamento, durante vários anos, buscavam apenas o controle das vazões de pico, esquecendo-se das interferências relacionadas à erosão das margens e qualidade da água. Assim, tornou-se primariamente fundamental avaliar critérios variados para o dimensionamento e a escolha das melhores alternativas para o controle das vazões de pico.

Fuchs (1984), através do estudo em pequenas bacias de detenção em lotes urbanos, apresentou várias propostas de gerenciamento das águas pluviais, como: bacias de detenção

¹ Informação obtida com familiares que já adotavam esta prática de armazenamento de água de chuva para o seu posterior aproveitamento por volta de 1950.

centralizadas, containers de detenção descentralizados, bacias de infiltração centralizadas e poços de infiltração descentralizados. Dentre elas, considerando critérios não mensuráveis, a detenção descentralizada, representada pelos containers, foi a alternativa que mais teve aspectos positivos quanto a: atenuação do hidrograma, perturbação durante a construção, aceitação pública e impactos ambientais.

A utilização de pequenas cisternas em lotes urbanos também foi testada por Schilling (1982) como medida não convencional simples e barata, visando diminuir os efeitos da urbanização. Os resultados para uma bacia com 29% de área impermeável e implantação de 140 cisternas de $0,5 \text{ m}^3$ indicaram redução das vazões pico de até 20%. No entanto, para os eventos mais frequentes com $Tr < 1$ ano, as vazões foram diminuídas em até 80%.

Andrade Filho et al. (2000), após inúmeras simulações hidrológicas em uma bacia urbana na cidade de Ponta Grossa/PR, confirmaram que o uso de microrreservatórios embutidos em lotes urbanos, quando associados ao sistema de drenagem convencional, proporcionam redução considerável de vazões e volumes escoados.

Similarmente, Genz (1994) estudou a inserção de microrreservatórios no lote urbano a partir de um layout básico que foi simulado pela implementação da rotina de propagação em reservatório. A Figura 3.16 ilustra o protótipo inicial experimentado pela simulação realizada com base em uma precipitação de 112 mm/h.

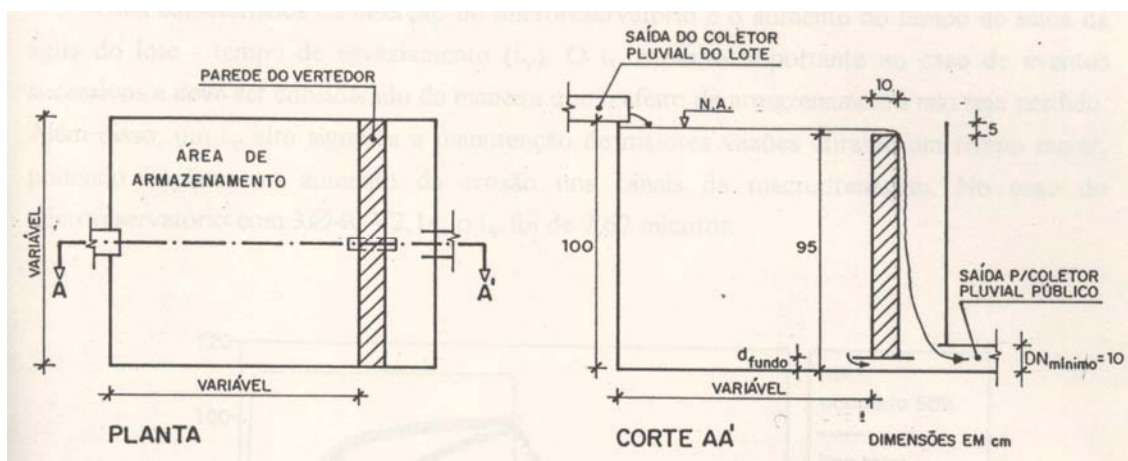


Figura 3.16 - Esquema de microrreservatório para lotes urbanos (GENZ, 1994).

Após várias simulações a partir do estudo de diferentes cenários, o autor obteve resultados que reduziram a vazão pico ao nível de pré-ocupação ou inferior a ele, nas condições em que o microrreservatório esteve localizado na saída do telhado. A Figura 3.17 apresenta os hidrogramas simulados com redução de vazão em torno de 15% abaixo da condição de pré-ocupação.

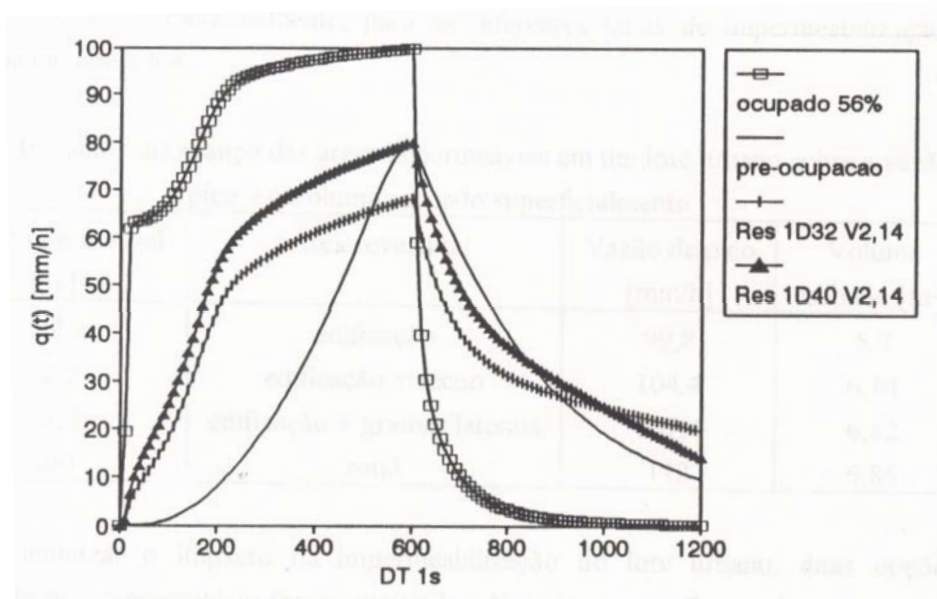


Figura 3.17 - Hidrograma de microrreservatório RES localizado na saída do telhado (GENZ, 1994).

Ohnuma Jr. (2005), a partir da proposta de criação de cenários de recuperação ambiental para bacias urbanas, simulou microrreservatórios embutidos em lotes urbanos associados a outras medidas estruturais de controle. A resposta desses dispositivos permitiu incluí-los entre as medidas não convencionais preferidas e propostas para o desenvolvimento de políticas públicas.

Inúmeras alternativas utilizando microrreservatórios embutidos em lotes urbanos têm sido avaliadas com maior frequência pelos hidrólogos e pesquisadores. A cidade de Portland, nos Estados Unidos, por exemplo, a partir do Environmental Services City of Portland [Serviços Ambientais da Cidade de Portland] (ESCP, 200?), apresentou várias medidas de gerenciamento aplicadas na fonte geradora. Entre elas, encontram-se os *drywell*

ou *sump* (reservatórios de água), que permitem coletar a água que escoar pelo telhado, direcionando-a para elementos filtrantes (tubos resistentes à umidade do solo ou trincheiras de infiltração).

A Figura 3.18 ilustra o encaminhamento das águas pluviais a partir do uso desses dispositivos. Ambos são projetados para coletar a água que escoar exclusivamente do telhado com escoamento direto para tubos ou trincheiras de infiltração.

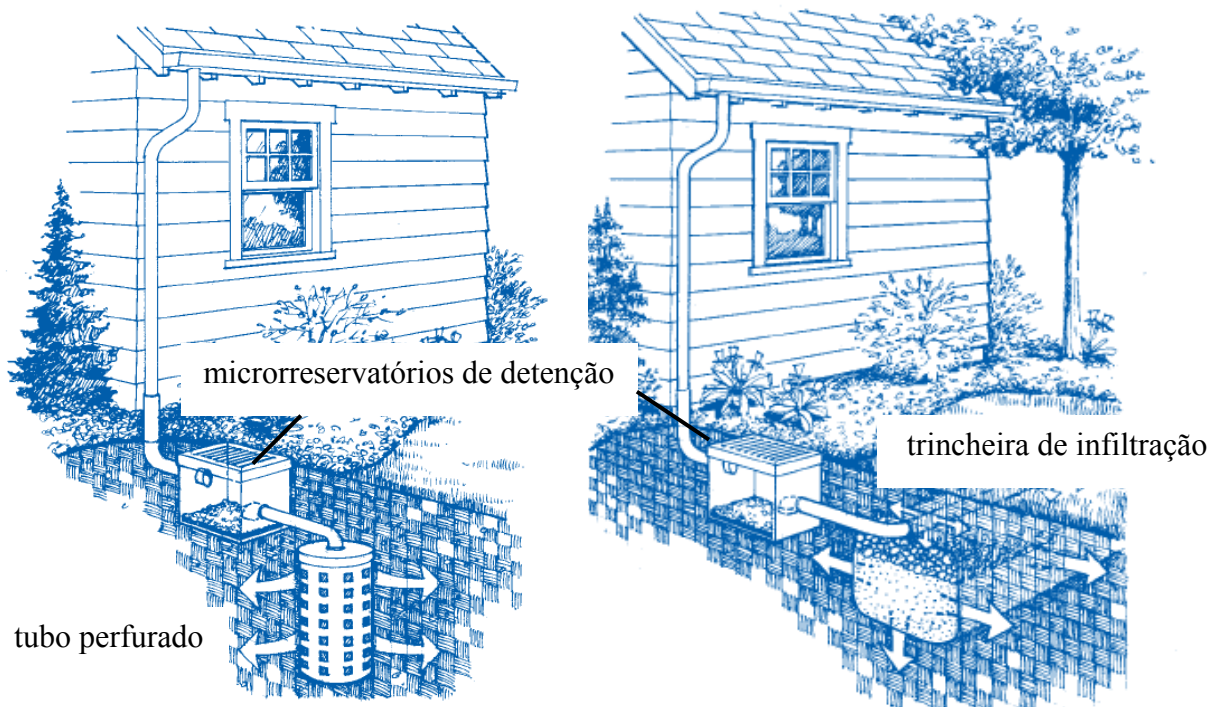


Figura 3.18 - Exemplos de *drywell* ou *sump* como microreservatório de água pluvial e controle da poluição (ESCP, 2002).

Cruz et al. (1998), ao simular o controle do escoamento em lotes urbanos, verificaram que os volumes de amortecimento para um determinado lote de 600 m² de área totalmente impermeabilizado variam entre 2 e 2,5 m³. Para condições com 50% de áreas impermeáveis, os volumes ficaram entre 1 e 1,5 m³. Tais resultados possibilitam, segundo os autores, portanto, eliminar ou reduzir os efeitos negativos da urbanização, entre eles, o crescente amortecimento na microdrenagem.

Outros estudos, conforme apresentado por O'Loughlin et al. (1995) na cidade de Sydney, Austrália, mostram que o uso de microreservatórios em lotes residenciais possibilita

restaurar parcialmente o armazenamento natural perdido, não transferindo o impacto da impermeabilização para áreas a jusante dessas propriedades.

3.3.4. Cisternas ou reservatórios de aproveitamento de água da chuva

Fundamentalmente, a principal diferença entre os microrreservatórios embutidos em lotes urbanos e as cisternas de aproveitamento de água de chuva é a finalidade. As cisternas armazenam grandes volumes de água da chuva visando o seu aproveitamento para fins potáveis ou não potáveis. Os seus benefícios a médio e longo prazo são considerados maiores do que os dos microrreservatórios, principalmente na sustentabilidade de recursos aplicados. No entanto, a implantação das cisternas exige gastos maiores, dependendo de sua tipologia construtiva. Embora atualmente os custos sejam premissas para a realização de qualquer obra, antigamente este aspecto não era tão importante, visto as estruturas serem simples e menos sofisticadas.

3.3.4.1. A antiguidade das cisternas

May (2004) salienta que os sistemas de coleta e aproveitamento de água de chuva existem há mais de 4 mil anos no Deserto de Negev, em Israel. Outras escrituras revelam que alguns reservatórios de água de chuva foram construídos pelos Anasazis por volta de 1100 a.C., conforme relembra Soares (2000).

Países como o Brasil utilizam este sistema há pouco mais de 60 anos. A ilha de Fernando de Noronha/PE, conforme Ghanayem (2000), abriga instalações de uma cisterna que foi construída pelos norte-americanos em 1943.

A maior utilidade da água da chuva para povos antigos era a de abastecer a agricultura. Como viviam em áreas de encostas, as pessoas recebiam enorme volume de escoamento das águas da chuva.

Nos vales da cidade de Oxkutzcab, no México, os povos praticavam a coleta da água pluvial a partir de sistemas conhecidos como *aguadas*. Gnadlinger (2000) informa que tais reservatórios eram escavados artificialmente e possuíam capacidade de armazenamento de 10 a 150 milhões de litros, enquanto que as *aquaditas* constituíam pequenos reservatórios para 50 mil litros.

Exemplo clássico são as cisternas *chultuns*. Com diâmetro de aproximadamente 5 metros, elas eram escavadas em subsolo do tipo calcário e revestidas com reboco impermeável. A estrutura comportava uma área de coleta de água de chuva entre 100 e 200 m². A Figura 3.19 apresenta a ilustração dessas cisternas de propriedade do povo maia, que possuía capacidade de armazenamento de até 45.000 litros.

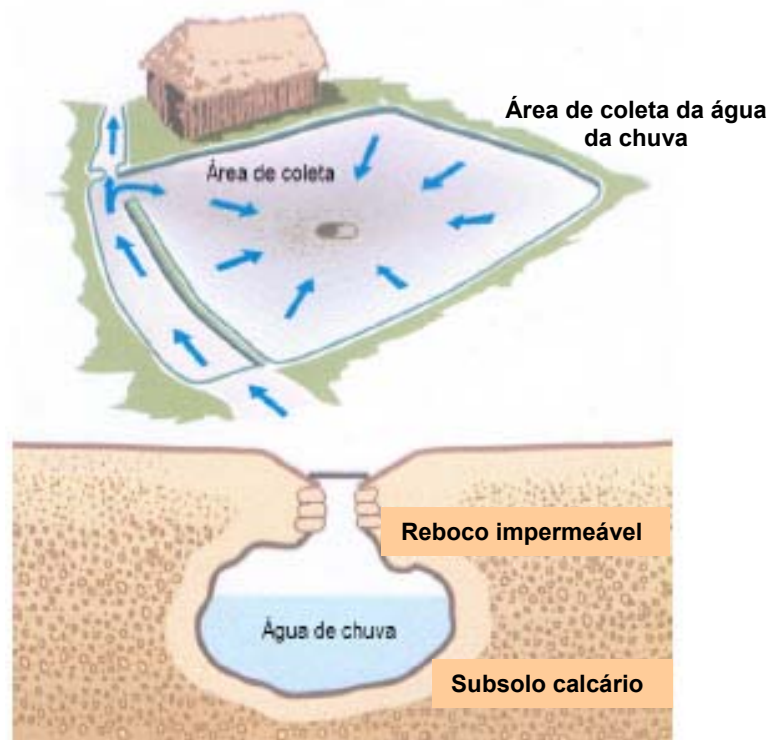


Figura 3.19 - Cisternas do povo maia chamadas *chultuns*, com volume de armazenamento de até 45.000 litros (GNADLINGER, 2000).

3.3.4.2. Aplicação atual de captação de água de chuva em alguns países

Vários exemplos podem ser encontrados, em diversos países, do sistema de captação e aproveitamento de água de chuva sendo projetado tanto para áreas residenciais como para áreas públicas e comerciais.

A Alemanha é um dos principais países que adota esta medida como item prioritário em seus programas ambientais. Schmidt (2003) apresenta vários exemplos encontrados na cidade de Berlim. Segundo o autor, as cheias anuais dos rios Reno, Mosel e Main, no país, indicam que deveria existir prioridade para a inclusão de medidas descentralizadas de captação de água pluvial. Integrado no planejamento ambiental do município de Berlim, as obras do Projeto Parca de Potsdam utilizam amplo conceito de manejo de água pluvial. Com o objetivo de reduzir o escoamento para evitar a sobrecarga de esgoto misto, esse projeto implementou em 19 prédios medidas que são apresentadas na Tabela 3.8, a seguir:

Tabela 3.8 – Dados do Projeto de Gerenciamento de Parca Potsdam, em Berlim, na Alemanha

N	Medida	Quantidade	Unid.
1	Vegetação intensiva e extensiva em telhados	40.000	m ²
2	Cisterna de água de chuva	3.500	m ³
3	Lago artificial	13.000	m ²
4	Área projetada para tratamento de água pluvial	1.900	m ²

(SCHMIDT, 2003)

A capacidade de armazenamento desta cisterna corresponde a 15% da precipitação média anual, e o lago artificial, 17%. Integralmente, o projeto engloba monitoramento da qualidade da água que circula continuamente.

No final dos anos 1980, vários cientistas do estado de Gansu, no Norte da China, segundo Gnadlinger (2001), conduziram experimentos de captação de água de chuva. O objetivo maior era suprir tanto a demanda doméstica quanto o abastecimento de culturas agrícolas. O projeto, devido à sua integração de manejo de água em áreas rurais no semi-árido, foi intitulado como *agricultura de colheita de água de chuva*. Tão grande sua abrangência, até o início de 2001, o projeto construiu mais de 2 milhões de cisternas com capacidade para captar mais de 73 milhões de m³ de água de chuva. Este volume, segundo o autor, abasteceria mais de: 1,3 milhão de pessoas, 1,2 milhão de animais e mais de 245 mil hectares de terras para irrigação.

Devido à complexidade dos sistemas de captação de água de chuva para atender à agricultura, várias medidas complementares devem ser incluídas nos projetos, como, por exemplo, técnicas modernas de irrigação e cultivo. A Figura 3.20 ilustra esquematicamente um diagrama de captação de água de chuva elaborado para atender a agricultura chinesa.

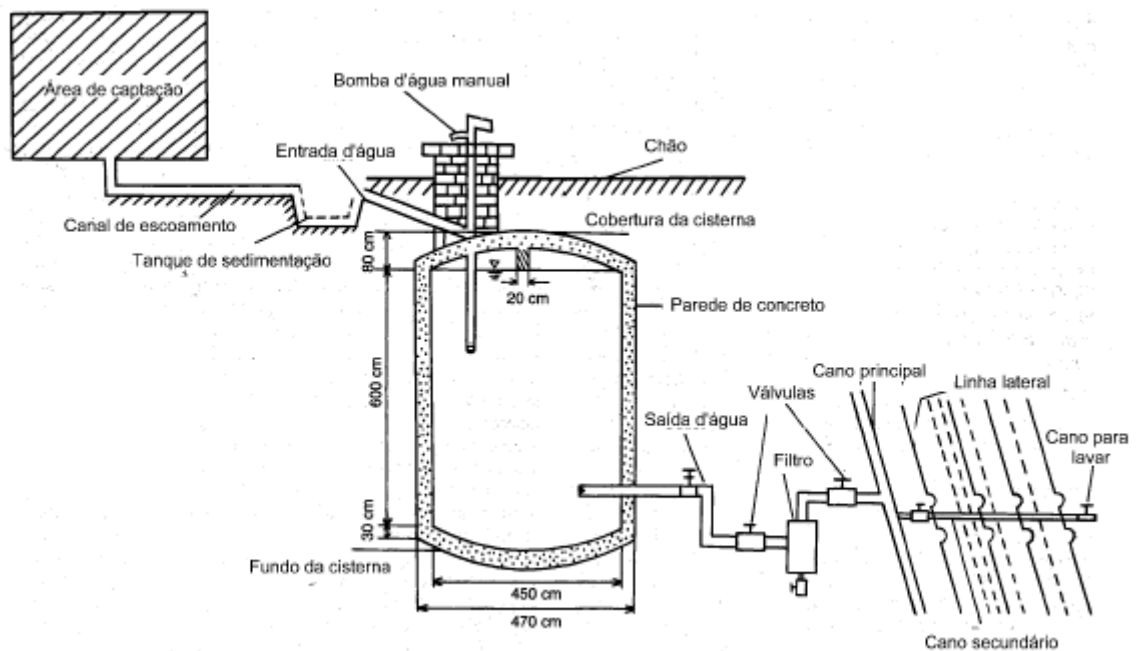


Figura 3.20 – Uso de água de chuva para agricultura no estado de Gansu na China (LI, 2000).

O atendimento em parte da população chinesa, a partir deste projeto de captação de água da chuva, conseguiu diminuir a pobreza de aproximadamente 1,2 milhão de pessoas. Devido a esta peculiaridade, o projeto ficou conhecido carinhosamente como Projeto Amor pelo Povo.

Silva (2003), ao avaliar propostas de captação de águas pluviais nas escolas públicas da cidade de Campina Grande/PB, no Brasil, concluiu que esse sistema de coleta se apresenta como uma estrutura alternativa auxiliar, viável, eficiente e econômica de combate à escassez de água, principalmente em áreas do semi-árido e do sertão nordestino.

3.3.4.3. Previsão de consumo de água não potável

Para o cálculo de demanda de água residencial, algumas estimativas devem ser realizadas de acordo com determinados parâmetros, que informam: usos internos e externos, população residencial, época e período de uso dessas instalações e equipamentos domésticos que utilizam água.

Para efeito de cálculo, adotam-se valores médios que servem de base para o dimensionamento do reservatório de aproveitamento de águas pluviais. A Tabela 3.9 informa esses valores que são considerados na engenharia para a estimativa de demanda de água residencial.

Tabela 3.9 – Valores considerados para estimativa de consumo de água residencial

Uso	Unidade	Valores		
		Inferior	Superior	Provável
Gasto mensal	m ³ /pessoa/mês	3	5	5
População residencial	pessoas	2	5	3
Descarga na bacia	descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	litros/descarga	6,8	18,0	9,0
Vazamento sanitário	porcentagem	0	30	9
Frequência de banho	banho/pessoa/dia	0	1	1
Duração do banho	minutos	5	15	7,3
Vazão dos chuveiros	litros/segundo	0,08	0,30	0,15
Máquina de lavar roupa	carga/pessoa/dia	0,20	0,37	0,37
Volume de água	litro/ciclo	108	189	108
Vazão da torneira	litros/segundo	0,126	0,189	0,150

(TOMAZ, 2003)

Diversas tabelas refletem a necessidade de uso da água para diferentes classes e costumes sociais. Dependendo do tipo construtivo habitacional, pode-se ter ou não maior consumo de água não potável. Vickers (2001) estudou a média de consumo interno de uma residência nos Estados Unidos. Os resultados indicam que 50% do consumo estão nas descargas sanitárias e lavagem de roupas (Figura 3.21).

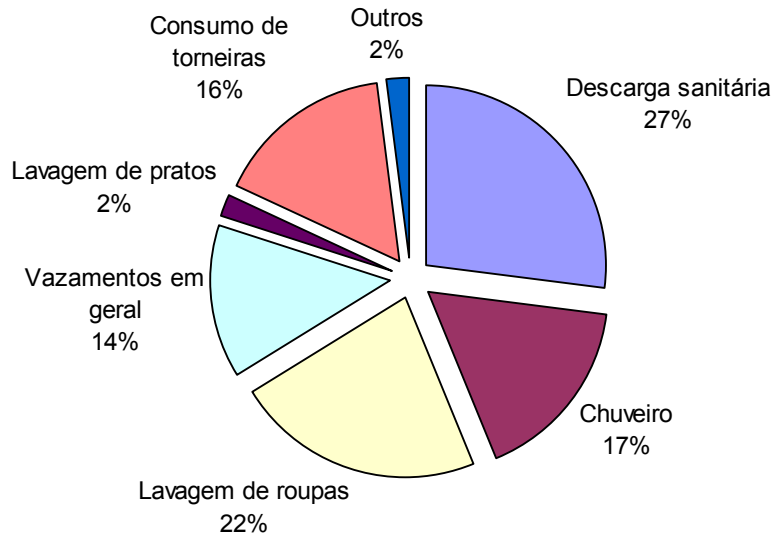


Figura 3.21 – Média de consumo de água residencial nos Estados Unidos (VICKERS, 2001).

Outros países evidenciam esta mesma perspectiva de consumo. No entanto, alguns se encontram mais adiantados do que outros em relação à redução de uso da água. Na Alemanha, por exemplo, tornou-se lei a Diretriz europeia 98/83/EG do Council for the Quality of Water for Human Consumption. Koenig (2003) informa que, para esta lei, não há restrição ao uso da água de chuva em residências, bacias sanitárias, irrigação de jardim, lavagem de roupas ou limpeza em geral.

Segundo a ABNT/CEET (2007), os sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais exigem certos cuidados, desde a sua fase de construção até a manutenção. Isso garante uma maior segurança do abastecimento e da qualidade da água armazenada. Dentre esses cuidados e características, devem ser ressaltados:

- a) preservar a tampa de inspeção fechada;
- b) evitar a entrada de luz no reservatório para diminuir a proliferação de algas e microorganismos;
- c) colocar grade ou tela na saída do tubo extravasor para evitar a entrada de pequenos animais;

- d) projetar o reservatório com declividade de fundo na direção da tubulação de drenagem, para facilitar a limpeza;
- e) assegurar que a água coletada seja usada exclusivamente para fins não potáveis;
- f) prever, a partir do projeto, uma conexão paralela do reservatório de água pluvial para outro reservatório superior, a fim de assegurar o consumo diário em períodos de estiagens prolongadas;
- g) prever amortecedor no fundo do reservatório para evitar turbulências e ressuspensão de material sedimentado.

Secundariamente, outros itens são destacados, como, por exemplo: diferenciar a tubulação de coleta e distribuição de águas pluviais para que interferências cruzadas sejam evitadas; indicar através de placas as torneiras que eventualmente utilizarem a água do reservatório de água da chuva com a inscrição *água não potável*; monitorar periodicamente a qualidade da água distribuída.

3.3.4.4. Coeficiente de runoff

Para qualquer uso relacionado ao aproveitamento de água de chuva, é necessário efetuar o dimensionamento dos reservatórios ou cisternas, visando estimar o volume de água de chuva que escoar pelo telhado, em vez de se utilizar totalmente do valor precipitado. Isto se deve à existência de perdas associadas à precipitação na própria limpeza do telhado, evaporação, acúmulos em saliências e outros. Este valor, denominado como sendo o *coeficiente de runoff* C , pode ser encontrado em inúmeras bibliografias. A Tabela 3.10 apresenta alguns valores deste coeficiente válido para dois tipos de telhas:

Tabela 3.10 – Coeficiente de runoff C para telhado a partir de diferentes literaturas

Telhas	$C^{(2)}$	$C^{(3)}$	$C^{(4)}$	$C^{(5)}$	$C^{(6)}$
Cerâmicas	0,80 a 0,90	0,70 a 0,95	0,80	0,70 a 0,90	0,56
Corrugadas de metal	0,70 a 0,90	–	–	–	0,85

A Tabela 3.11 mostra o coeficiente de runoff adotado em alguns países como sugestão para o aproveitamento de águas de chuva. São valores encontrados na literatura internacional que podem ser considerados válidos para a situação brasileira, uma vez que os coeficientes refletem uma proximidade com os valores da literatura do Brasil.

Tabela 3.11 – Coeficiente de runoff C para telhado em outros países

Países	Flórida	Alemanha	Austrália	Ilhas Virgens
Coeficiente de runoff	0,67	0,75	0,80	0,85

(PACEY e CULLIS, 1996)

3.3.4.5. Mecanismos de geração do escoamento

Para uma análise da geração do escoamento em ambientes reduzidos, devem-se examinar algumas hipóteses buscando entender a diversidade dos processos internos. Mendiondo e Tucci (1997) apresentaram uma análise na dinâmica de vertentes hidrográficas em bacias. O trabalho distinguiu as divisões principais dos escoamentos que ocorrem em uma área hidrográfica. Verificou-se que podem ocorrer convergências de fluxos subsuperficiais

² HOFKES e FRASIER, 1996

³ WILKEN, 1978

⁴ PACEY e CULLIS, 1996

⁵ RUSKIN, 2001

⁶ KHAN, 2001.

devido à descontinuidade entre o caminho preferencial das águas e o substrato rochoso próximo à superfície.

Diversos pesquisadores atuaram na formulação de hipóteses dos principais fluxos nas vertentes hidrológicas. Nos anos 1960, Hewlett e Hibbert (1967), e posteriormente Weyman (1970), mostraram que, até nas chuvas intensas, toda a precipitação nas partes mais altas se infiltravam dentro do solo, aumentando o teor de umidade local e transmitindo a saturação para as áreas de jusante. Estes estudos indicaram que uma ação combinada da infiltração com o fluxo subsuperficial resulta uma camada de saturação em baixas profundidades. Nestas áreas saturadas, diminuía-se a capacidade de infiltração e toda a precipitação incidente convertia-se em precipitação efetiva.

As diferentes conexões hidrológicas no interior dos solos, conforme Jones (1971), resultam em uma transmissão entre áreas distintas. Portanto, há pesquisas que apóiam a idéia da verticalização no processo da infiltração, desde a superfície até os níveis do lençol freático. Hewlett e Troendle (1975), ao melhorar o entendimento referente à natureza anisotrópica do solo, postularam que o caminho vertical é um dos tantos prováveis na condução dos escoamentos internos. Segundo os autores, o fluxo subsuperficial responde também às mudanças dos gradientes hidráulicos, podendo escoar paralelo à superfície, dependendo das condições de umidade, condutividades e gradientes topográficos.

A Figura 3.22 ilustra o comportamento de alguns mecanismos observados na condução do escoamento a partir de diferentes hipóteses.

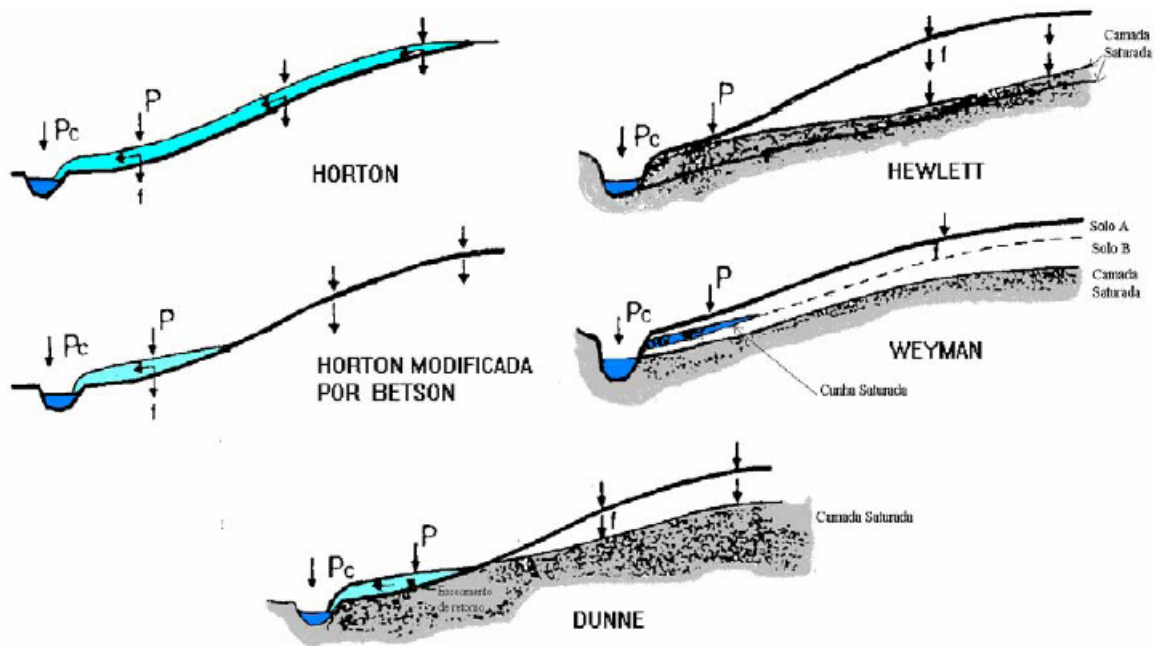


Figura 3.22 - Hipóteses de mecanismos de geração do escoamento (BEVEN, 1986, *apud* MENDIONDO e TUCCI, 1997).

Os diferentes tipos de escoamentos gerados, segundo Mendiondo e Tucci (1997), são úteis para solucionar a continuidade do fenômeno e o equilíbrio de forças a partir de uma visão concentrada. Tais hipóteses podem indicar e auxiliar na percepção dos caminhos preferenciais das águas na geração do escoamento.

3.3.4.6. Método de Rippl para dimensionamento dos reservatórios

Este método utiliza séries históricas de precipitações, podendo ser diárias ou mensais. Quanto maior a série, maior torna-se a confiabilidade dos resultados, embora não seja uma garantia de que o dimensionamento possa ser considerado válido para quaisquer tormentas, visto a magnitude da natureza.

O volume de água no reservatório $S(t)$, num determinado instante t , é calculado pela diferença entre a demanda $D(t)$ e o volume de chuva aproveitável $Q(t)$, ambos no mesmo instante t . A Equação 3.16 representa este cálculo:

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (3.16)$$

O volume de chuva aproveitável $Q(t)$, no instante t , conforme visto na Equação 3.17, resolve o produto entre o coeficiente de escoamento superficial ou runoff C , a precipitação da chuva $I(t)$ e a área de captação A .

$$Q(t) = C.I(t).A \quad (3.17)$$

Finalmente, o volume do reservatório V é a somatória do volume $S(t)$ encontrado no instante t , conforme Equação 3.18.

$$V = \sum S(t), \text{ para } S(t) > 0 \quad (3.18)$$

Vale ressaltar que a somatória do consumo deve ser sempre inferior à somatória do volume de chuva que será aproveitada, para não haver interferências no bombeamento e/ou na falta de água.

Outros métodos de cálculo para o dimensionamento de reservatórios compreendem o Projeto 00.001.77-001 (ABNT/CEET, 2007), entre eles o método da simulação, em que se aplica a equação da continuidade. A partir de um volume arbitrário, verifica-se o que acontece com a água que sobra e com a água que falta. Trata-se de um método simples, porém de maiores incertezas no processo.

O método Monte Carlo, conforme apresentado por Tomaz (2003), utiliza entrada de dados que são transformados em saída a partir de Rippl. Trata-se de um método bastante adotado, principalmente para o dimensionamento de reservatórios de abastecimento de água potável ou para produção de energia elétrica.

3.3.4.7. Projeto básico e operação do sistema de aproveitamento de águas pluviais

A fim de elucidar o funcionamento e a operação do sistema de aproveitamento da água de chuva, é descrito a seguir os aspectos principais de sua utilização. A Figura 3.23, apresentada por Ohnuma Jr. (2005), ilustra esquematicamente o sistema de funcionamento e uso do sistema de captação, armazenamento e distribuição das águas da chuva.

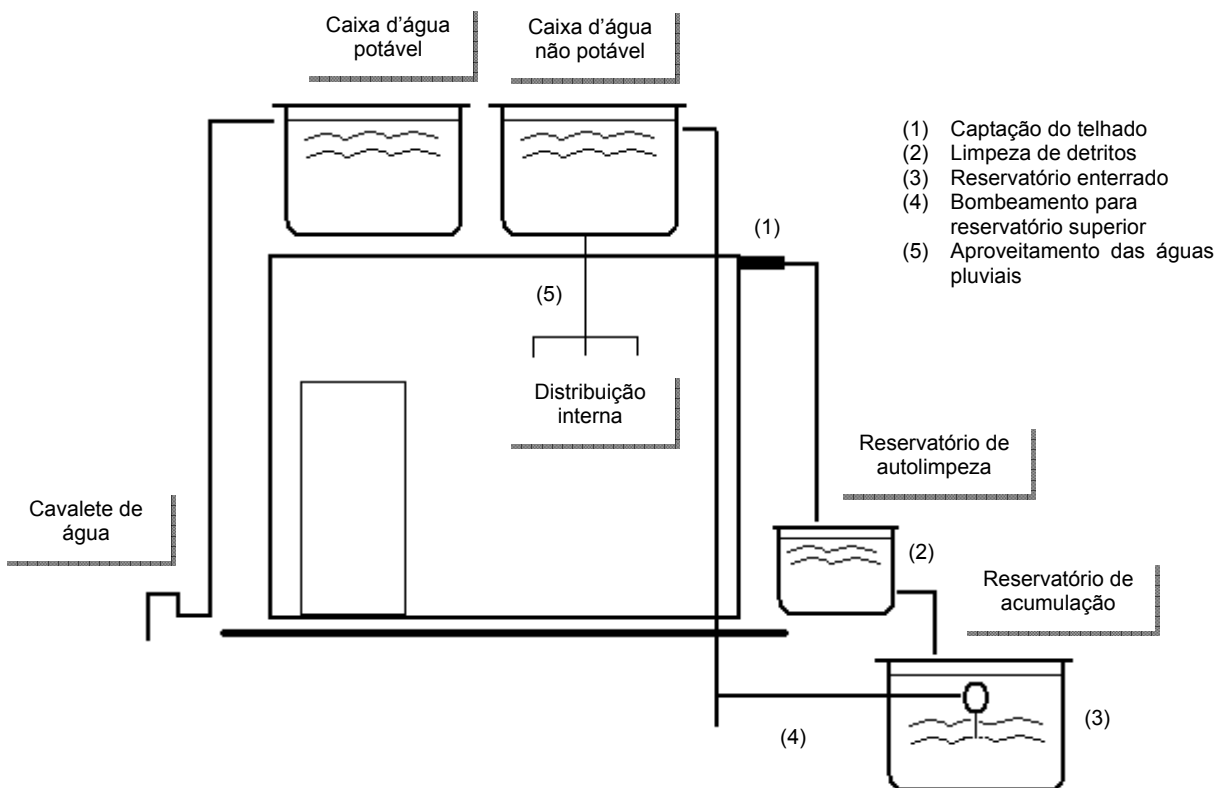


Figura 3.23 – Sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva (OHNUMA JR., 2005).

O esquema apresenta o reservatório de autolimpeza. No entanto, este reservatório pode ser substituído por um sistema de filtro que, dependendo de sua especificação, pode tanto encarecer quanto economizar o custo final de implantação dos serviços. A 3P Technik do Brasil (2007) informa que a água de chuva possui, em condições normais, a qualidade da água própria para banho, principalmente quando ela passa por filtragem, como, por exemplo, utilizando-se filtros de aço inox com uma tela fina e autolimpantes. Dependendo da região, este processo deve ser mais detalhado, uma vez que elevados índices de poluição atmosférica podem comprometer a qualidade da água coletada.

Sistemas de bombeamento devem ser interligados a um dispositivo contra rotação a seco da bomba, para evitar possíveis riscos de queima do motor. No entanto, podem-se usar sistemas que trabalham sob demanda, ou seja, com toda a alimentação interligada ao conjunto de bombas.

Deve-se instalar uma caixa exclusiva no telhado para o abastecimento das descargas sanitárias e de outros pontos de consumo não potáveis, como torneira de jardim e máquina de lavar roupa. A exclusividade desta caixa é a separação das águas limpas e potáveis. Portanto, deve-se identificar todas as formas de uso de água de chuva que não sejam potáveis.

Em estiagens prolongadas, todo o consumo que passa pela tubulação advinda do reservatório de água de chuva deve ser garantido para não haver falta d'água. Neste caso, deve ser prevista a realimentação do sistema com água potável em direção à cisterna ou por uma ligação direta no filtro, em quantidades satisfatórias que garantam o consumo diário (Figura 3.24).

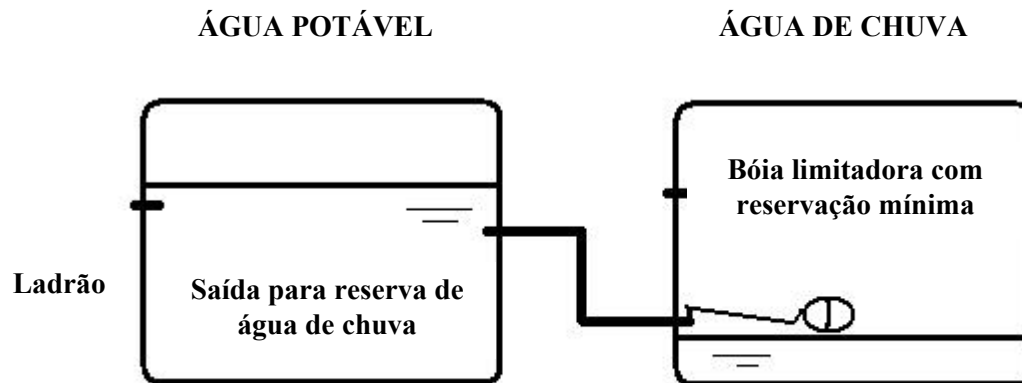


Figura 3.24 - Realimentação do sistema de reservação entre caixas d'água (3P TECHNIK, 2007).

Esse processo visa realimentar automaticamente o reservatório de água de chuva pelo reservatório de água encanada, devendo ser projetado com dispositivo que impossibilite o refluxo, como, por exemplo, um funil realimentador, uma vez que a mistura contrária interfere nas condições de qualidade da água tratada.

Geralmente, o sistema de captação das águas pluviais não impõe dificuldades na construção, exceto quando se pretende adotar o aproveitamento para usos potáveis, pois exige tratamento adequado e inspeção periódica da qualidade da água.

3.3.4.8. Requisitos legais para o aproveitamento das águas pluviais

Embora esteja se iniciando no Brasil as exigências normativas quanto à reservação e ao aproveitamento de águas pluviais, diversos países já possuem leis em vigor, visto que há inúmeras associações internacionais que promovem esta prática desde 1982, conforme Tomaz (2003). Países como a Alemanha utilizam a norma E-DIN (1989) como regulamento normativo que prevê a utilização de água de chuva. A fim de evitar os problemas das enchentes, Yamagata e Ogoshi (2002, *apud* TOMAZ, 2003) afirmam que o regulamento do

governo metropolitano de Tóquio estabelece, associada a outras medidas integradas, desde 1984, uma lei que obriga todo prédio com área construída maior do que 30.000 m² a reciclar a água da chuva.

Recentemente, foi elaborado, pela ABNT/CEET (2007), o projeto intitulado *Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos*, ainda sem valor normativo. Com o objetivo de fornecer requisitos para o aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis, o projeto se aplica para uso em: descargas sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

Segundo a mesma referência, a concepção do sistema de aproveitamento de água de chuva deve atender aos requisitos da ABNT NBR 5626 (1998) e à ABNT NBR 10844 (1989). Ao mesmo tempo, o projeto deve atender aos requisitos da ABNT NBR 12217 (1994), como parte das instalações de reservatórios de distribuição de água para abastecimento público.

3.3.5. Reúso de águas

Tanto internacional como nacionalmente, o reúso de águas é uma prática que tem se desenvolvido de forma crescente, ainda mais por conta da necessidade nos grandes centros urbanos, cuja demanda é limitada pela poluição.

A tecnologia de reúso de água é subentendida como sendo dependente dos fins a que se destina e de como ela foi utilizada anteriormente. Conceitualmente, a definição do termo *reúso de águas* ainda é passível de discussão visto a capacidade de sucessão de inúmeras cidades a jusante captarem água já anteriormente utilizadas. No entanto, de maneira geral o reúso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, através de ações planejadas ou não.

De acordo com a World Health Organization ou Organização Mundial da Saúde (1973), tem-se:

- a) *reúso direto*: ocorre quando a água já utilizada, uma ou mais vezes, para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante de forma diluída;
- b) *reúso indireto*: é a utilização planejada e deliberada de esgotos tratados para certas finalidades, como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- c) *reciclagem interna*: é o reúso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

A partir da união de esforços entre agentes públicos, empresas de tecnologia, fabricantes e instituições de ensino, pesquisa e desenvolvimento tecnológico, foi elaborado pela ANA/Fiesp/Sinduscon-SP (2005) a publicação *Conservação e reúso da água em edificações*. Este trabalho traz orientações visando implantar programas de conservação de água em edificações comerciais, residenciais e industriais, tanto para as edificações novas, quanto para as existentes. Dentre as ações definidas por estes agentes, têm-se:

- reduzir a quantidade de água extraída em fontes de suprimento;
- reduzir o consumo de água;
- reduzir o desperdício de água;
- aumentar a eficiência do uso de água;
- aumentar a reciclagem e o reúso de água.

3.3.5.1. Padrões de qualidade da água para reúso

Estas ações envolvem discutir diretrizes de racionalização de uso da água a partir da escolha de fontes alternativas de abastecimento. Em função disso, deve-se levar em consideração a gestão desses sistemas alternativos, uma vez que a negligência no uso dessas fontes pode colocar em risco a saúde do consumidor e das atividades que usufruem do recurso. Portanto, as exigências quanto aos padrões de qualidade devem ser seguidas adequada e rigorosamente. De preferência, todas elas devem ser acompanhadas por um profissional habilitado.

Os padrões de qualidade da água para reúso variam conforme a sua utilização última, ou seja, as classes de água para reúso são definidas mediante as atividades em que ela será aproveitada. A Tabela 3.12 apresenta os principais parâmetros de qualidade para água de reúso e suas variantes normativas.

Tabela 3.12 – Parametrização de qualidade de água para reúso em diferentes normas

Parâmetro	Unidade	EPA – reúso urbano ⁽⁷⁾	Conama 357/05 ⁽⁸⁾
Coliforme fecal	NMP/100 mL	ND*	≤ 1.000
Coliforme total	NMP/100 mL	–	≤ 5.000
pH	–	6 a 9	6 a 9
DBO	mg/L	≤ 10	≤ 5
DQO	mg/L	–	–
Sólidos suspensos	mg/L	–	≤ 500
OD	mg/L	–	≥ 5
Sulfactantes	mg/L	–	–
Nitrito	mg/L	–	≤ 1
Nitrato	mg/L	–	≤ 10
Cloretos	mg/L	600	250
Turbidez	UNT	≤ 2	≤ 100
Dureza total	CaCO ₃ mg/L	–	–

ND*: Não detectável

Dentre os valores típicos exigidos, os principais parâmetros de qualidade nos efluentes podem ser: sólidos suspensos, DQO, DBO e coliformes fecais, sendo este último o principal grupo de organismos indicadores de contaminação fecal de águas.

⁷ VMP para reúso urbano, conforme Usepa (2004), *Guidelines for Water Reuse*. Nos locais onde o contato humano não é permitido, o limite é 200 coliformes fecais/100 mL, 30 mg/L de SS e 30 mg/L de DBO. O limite para cloro residual é de 1 mg/L.

⁸ Limites da Resolução Conama (BRASIL, 2005) 357/05 para classe 2 – águas destinadas à recreação de contato primário (tais como natação e mergulho, conforme Resolução Conama 274/00), irrigação de hortaliças e de plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com as quais o público possa vir a ter contato direto, e à aqüicultura e à atividade de pesca. Se não houver contato humano ou a irrigação for para culturas arbóreas, cerealíferas ou forrageiras, a classe será 3; o limite de coliformes termotolerantes, 4.000/100 mL; e o de DBO, 10 mg/L. Para uso em navegação e harmonia paisagística a classe será 4.

A eficiência das tecnologias de tratamento na remoção de patógenos foi apresentada pelo Prosab, edital 3, coordenado por Gonçalves (2003). Após submetido a diferentes níveis de tratamento, foram encontrados os valores médios das densidades de coliformes fecais no esgoto sanitário de características médias, conforme visto na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 – Níveis de tratamento e valores dos principais parâmetros de qualidade dos efluentes

Nível de tratamento	SS (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Coliformes fecais (NMP/100 mL)
Esgoto bruto	300	600	300	1,00 E + 07
Primário	120	420	180	1,00 E + 07
Anaeróbio	100	210	90	1,00 E + 05
Secundário/lagoas facultativas	80	150	30	1,00 E + 04
Secundário	20	85	20	1,00 E + 05
Filtração terciária	5	50	5	1,00 E + 04

(GONÇALVES, 2003)

Mais do que valores de eficiência de remoção de coliformes fecais, segundo o autor, o indicativo balizador deve ser a densidade de microorganismos no efluente tratado. Von Sperling e Chernicharo (2002), após comparar diferentes processos de tratamento, observaram que as lagoas de maturação e a infiltração no solo são capazes de produzir efluentes tratados com densidades de coliformes fecais iguais ou inferiores a 10^3 NMP/100 mL.

No entanto, são processos de tratamento relativamente específicos, que possuem, do ponto de vista da engenharia sanitária, a *desinfecção* como a etapa responsável pela redução das densidades de microorganismos patogênicos.

3.3.5.2. Águas cinzas nas edificações

O reúso de águas cinzas ou *greywater* para finalidades não potáveis, segundo Mancuso (2003), deve ser estimulado, visando diminuir a carga da instalação das estações de tratamento de esgotos.

Santos (2002) apresenta a configuração básica de um sistema de utilização de água cinza, sendo composto por: coleta de água servida, subsistema de condução da água, unidade de tratamento, reservatório de acumulação, sistema de recalque, reservatório superior e rede de distribuição.

3.3.5.3. Reúso de água na agricultura

Dentre as diferentes formas potenciais de reúso, a agricultura é uma das atividades que mais dependem de suprimento de água para manter a sustentabilidade da produção dos alimentos. Trata-se de uma condição fundamentada na expansão das terras que são cultivadas, principalmente devido ao uso consultivo que a água possui no ramo da agricultura. No Brasil, segundo Hespanhol (2003), o uso da água nesta atividade responde por aproximadamente 70% do total consumido atualmente. O uso de esgotos para irrigação aumentou significativamente nas duas últimas décadas em função da(o):

- a) dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- b) custo elevado de fertilizantes;
- c) segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, desde que as precauções adequadas sejam efetivamente tomadas;
- d) aceitação sociocultural da prática de reúso agrícola;
- e) reconhecimento dos órgãos gestores de recursos hídricos do valor intrínseco da prática.

Além disso, economicamente, a recuperação também é aspecto de interesse para o aumento da prática. Dados do CNA⁹ (1993, *apud* HESPANHOL, 2003) apresentam que o Vale de Mesquital, no México, obteve uma renda agrícola de aproximadamente 4 milhões de dólares por hectare a partir do momento em que os esgotos passaram a fazer parte do processo produtivo da região.

Ambientalmente, sistemas de reúso de água para fins agrícolas, quando planejados e administrados adequadamente, também proporcionam melhorias, como, por exemplo: redução das descargas de esgoto em corpos d'água; preservação dos recursos subterrâneos; conservação do solo pelo acúmulo de húmus; e aumento da concentração de matéria orgânica do solo com maior volume de retenção de água.

A utilização dos recursos hídricos não convencionais para usos benéficos diversos constitui prática de imenso valor potencial para diversas áreas, situadas em regiões áridas ou grandes aglomerações metropolitanas.

3.3.5.4. Biodigestor séptico modelo Embrapa

O processo de biodigestão realiza-se através da decomposição anaeróbica da matéria orgânica digerível por bactérias. Olsen e Larsen (1987) afirmam que as fases do processo constam de fase de: hidrólise enzimática, ácida e metanogênica. Estas diferentes fases visam eliminar os elementos patogênicos existentes nas fezes, devido principalmente à variação de temperatura.

A prática de disposição e tratamento dos efluentes a partir dos biodigestores é bastante antiga. Desde 1819, a cidade de Bombain, na Índia, instala biodigestores para o tratamento de resíduos. Outros países, como a Austrália, por exemplo, produzem e

⁹ COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CNA). **Información general de los districtos de Riego 03 e 100, Alfajayuacan.** Gerencia Estatal, Pajuca, Hidalgo, México. Cidade do México, 1993

industrializam o gás metano a partir do esgoto coletado. No Brasil, os biodigestores ganharam força na conversão de biogás em energia elétrica através de geradores.

O processo de biodigestor de resíduos orgânicos constitui, portanto, um novo patamar de utilização deste processo, com ênfase no saneamento e na reciclagem do efluente gerado.

A Embrapa (2004) apresenta o desenvolvimento de um biodigestor séptico, tendo como finalidade substituir o esgoto a céu aberto e as fossas negras. A proposta, além de melhorar o saneamento rural, minimiza os gastos com adubação química, uma vez que desenvolve-se paralelamente à agricultura orgânica.

A Figura 3.25 ilustra esquematicamente a fossa séptica biodigestora modelo Embrapa (2004). O sistema é composto por duas caixas de cimento amianto ou plástico de 1.000 litros cada, conectadas exclusivamente ao vaso sanitário e a uma terceira caixa de 1.000 litros, que serve para coleta do efluente (adubo orgânico). A água que vem do banheiro e da pia da cozinha deve ser separada do sistema, pois não possui potencial patogênico, e sabão ou detergente tem propriedades antibióticas que inibem o processo de biodigestão (EMBRAPA, 2004).

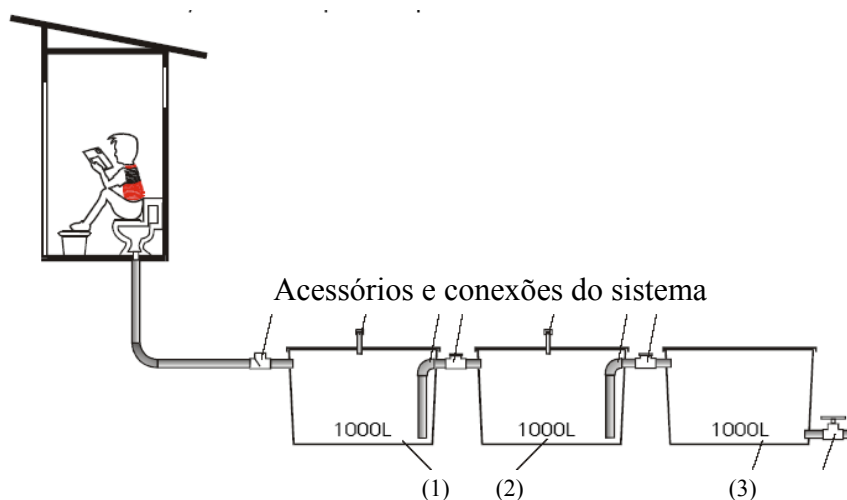


Figura 3.25 – Fossa séptica biodigestora para efluente sanitário (EMBRAPA, 2004).

O material que é depositado nas caixas fermenta por aproximadamente 35 dias. Este período, conforme Schoken-Iturrino et al. (1995), permite uma completa biodigestão do efluente, que pode ser utilizado como adubo orgânico em canteiros com plantações a um custo praticamente zero. A instalação consta também de duas chaminés de alívio para a descarga do gás acumulado.

Resultados apresentados por Novaes et al. (2003) indicam que a aplicação do efluente do biodigestor, além do aumento do conteúdo de matéria orgânica, proporciona um aumento de macronutrientes como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P). Por outro lado, as concentrações de nitrogênio (N) e potássio (K) decaíram com o uso do efluente. O uso deste modelo de biodigestor devido ao baixo custo de implantação pode ser uma alternativa para substituir a tradicional fossa negra utilizada em áreas rurais, diminuindo assim a contaminação das águas subterrâneas que abastecem os poços caipiras.

3.3.6. Pavimentos permeáveis e poços de infiltração

O uso de pavimentos permeáveis, embora seja uma medida mais amplamente adotada em algumas áreas, principalmente em praças e estacionamentos, ainda não é muito comum em áreas residenciais, industriais e comerciais. O escoamento superficial pode ser controlado pelo uso dos pavimentos permeáveis, que, associados às outras medidas, tornam-se um grande aliado para o combate às inundações urbanas.

Os pavimentos permeáveis são superfícies porosas ou perfuradas que permitem parte da infiltração da água no solo. Geralmente são constituídas por pedras de granulometria diferenciada. Segundo Araújo (1999), os pavimentos porosos têm a camada de revestimento executada de forma similar à dos pavimentos convencionais, exceto na porção de areia fina da mistura dos agregados, que é retirada. Schueller (1987) afirma que os pavimentos permeáveis

são compostos por duas camadas de agregados: fino ou médio e graúdo. Alguns exemplos de pavimentos permeáveis são apresentados na Figura 3.26.

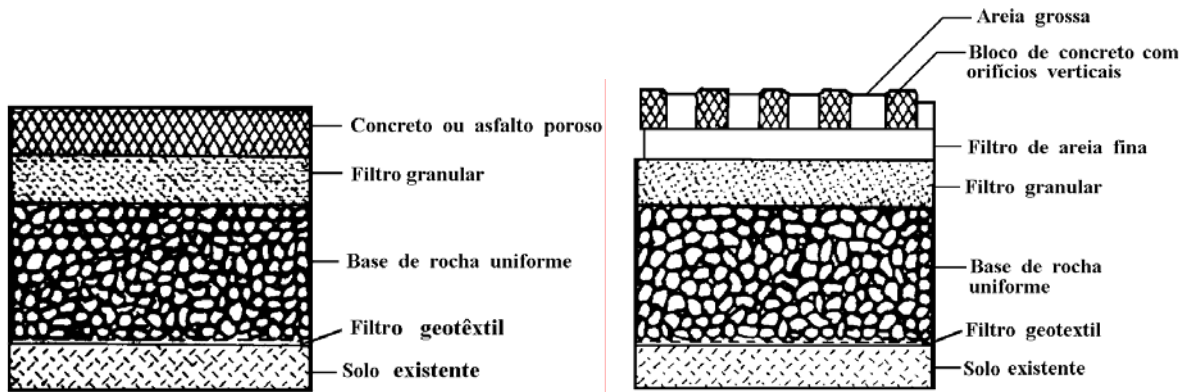


Figura 3.26 - Corte típico com descrição das camadas dos pavimentos permeáveis.

Conforme Urbonas e Stahre (1993), não existem limitações para o uso dos pavimentos permeáveis, a não ser quando:

- a) a água do escoamento superficial gerado não consegue infiltrar no subsolo devido à baixa permeabilidade do solo;
- b) o nível do lençol freático for alto; ou
- c) houver uma camada impermeável de forma a impossibilitar a infiltração.

Ragab et al. (2003a) investigaram o processo da infiltração e do escoamento a partir da quantificação do percentual precipitado que contribui para a drenagem e qual a infiltração total em diferentes tipos de pavimentos. Os resultados de infiltração indicaram que, dependendo da natureza da superfície, das camadas subsuperficiais, do nível de tráfego etc., entre 6% e 9% da precipitação anual infiltrou no solo, enquanto que a evaporação ficou representada entre 21% e 24%, com maior quantidade evaporada durante o verão.

Os poços de infiltração, por sua vez, possuem a característica de serem capazes de receber infiltrações em camadas profundas. Estes dispositivos são recomendados, a partir de Souza (2002), para camadas de solo superficiais pouco permeáveis, e necessitam manutenção freqüente.

Reis et al. (2005), ao avaliar o desempenho e as limitações de um sistema de poço de infiltração de água pluvial instalado dentro de uma área edificada, verificaram que a aplicação deste sistema em lotes urbanos pode ser bastante eficiente no controle do escoamento urbano. Os poços de infiltração podem restabelecer o balanço hídrico natural da área que foi impermeabilizada, controlando, assim, os picos de cheias dos hidrogramas.

3.4. A importância do monitoramento das medidas não convencionais

É imprescindível o monitoramento como forma de avaliação de impactos hidrológicos nas áreas de fontes geradoras. Tanto em pequenas como em grandes bacias, a ausência de dados introduz incertezas nos resultados e nas avaliações, uma vez que as informações baseiam-se em estimativas hipotéticas e muitas vezes imprecisas.

Gradativamente, no decorrer dos anos, a cultura hidráulica-hidrológica vem se aperfeiçoando na quantificação das informações de campo e experimentais. Mendiondo (2006) classifica as incertezas hidrológicas como naturais e sistêmicas. A falta de conhecimento acerca de um sistema pode, portanto, ser devido à insuficiência de dados confiáveis ou pela falta de conhecimento físico do sistema.

Vários instrumentos são utilizados para o monitoramento de medidas inseridas em lotes urbanos. Normalmente, os mais adequados são aqueles que conseguem registrar historicamente os dados de forma contínua e ininterrupta. As estações meteorológicas servem fundamentalmente para realizar medições em qualquer ambiente a céu aberto, salvo aquelas

em que a capacidade limite dos sensores é superada. Os linígrafos digitais automáticos são os mais recomendados para coleta de dados de níveis de reservatórios, trincheiras e poços de infiltração. Dependendo do modelo, estes equipamentos podem fornecer medições de qualidade de água, como temperatura e condutividade elétrica. Há no mercado tecnologia suficiente para atender diversas necessidades de medições hidrológicas com softwares que viabilizam a comunicação automática, organizam a base de dados e, inclusive, possibilitam visualizações rápidas e claras através da geração de relatórios.

Embora haja disponibilidade tecnológica para as pesquisas, os equipamentos de monitoramento urbano, como quaisquer outros tipos de aparelhos de medição, são passíveis de erros e incertezas. Tais equipamentos exigem, além dos conhecimentos básicos de operação e manutenção do sistema, uma maior capacitação do técnico operador. O hidrólogo em questão necessita conhecer o mínimo dos conceitos relacionados à hidrologia para que as medições sejam apuradas com maior precisão.

Barbassa (1997) informa que a despreocupação com a qualidade das medições, caso da grande maioria dos hidrólogos, conduz a erros médios encontrados, que variam de 4,8%, para precipitações de 3,7 mm/h, a 1,1%, para 78 mm/h. Outro dado relevante, segundo o autor, é o intervalo de tempo, que pode afetar consideravelmente a medida, pois, para pequenos intervalos, menores as alturas de lâminas, e isto tende a provocar maiores erros nas medições.

Paiva (2001) destaca o monitoramento hidrológico como um dos aspectos mais importantes na caracterização quali-quantitativa dos recursos hídricos. A disponibilidade de séries de dados hidráulicos e hidrológicos, a partir de medições em campo, torna possível o desenvolvimento e a aplicação de modelos mais confiáveis.

Magalhães Jr. (2000) propõe que um adequado monitoramento pode ser considerado como um dos pré-requisitos para o sucesso de qualquer sistema de gestão das águas, já que

permite a obtenção de um arcabouço de informações necessárias para o acompanhamento das medidas efetivas, a atualização de banco de dados e os processos decisórios.

Diferentemente do monitoramento em grandes bacias, as medições em lotes urbanos exigem outras preocupações, que devem ser consideradas, impreterivelmente, devido ao tempo de resposta das informações e da distribuição espacial das chuvas. Portanto, é de suma importância a instalação de uma estação meteorológica o mais próximo possível das medidas a serem monitoradas.

Exigências normativas e resoluções propostas por órgãos governamentais, como, por exemplo, ANEEL (BRASIL, 1998) e ANA, propõem diversas iniciativas a fim de promover o uso de monitoramento contínuo para variações de nível d'água em rios. Tais cumprimentos permitem respostas mais eficientes, além de melhorias no processo de gestão dos recursos hídricos.

3.5. Efeitos combinados das medidas compensatórias

Estruturalmente, a incorporação de várias medidas não convencionais em lotes urbanos, atuando de forma combinada, pode minimizar consideravelmente os impactos hidrológicos decorrentes da urbanização. Batista et al. (2005) simularam os efeitos hidrológicos de medidas compensatórias para uma área de drenagem com aproximadamente 56 ha de áreas verdes, 10 ha de arruamentos e mais de 48 ha de lotes. A partir da implantação de um cordão de trincheiras, valetas de infiltração, estruturas de retenção temporárias e áreas verdes, os autores concluíram que a combinação dessas técnicas compensatórias possui um impacto global hidrológico positivo no que se refere às vazões máximas.

Cançado et al. (2005) avaliaram a possibilidade de criação de uma taxa de drenagem urbana, objetivando o autofinanciamento do sistema. A inclusão de caixas de retenção no

lote, como medida compensatória para o controle do escoamento superficial, pode ser uma forma complementar de drenagem urbana, principalmente nos casos em que o escoamento gerado no terreno ultrapassa os limites estabelecidos pelos planos diretores.

Incorporar diferentes medidas de controle, desde que localizadas na mesma área de contribuição referente à drenagem, quando utilizadas em associação com outros lotes, tende a reduzir consideravelmente as vazões afluentes para a rede pluvial.

3.6. Limitações do uso das medidas não convencionais

Desvantagens e limitações estão associadas a qualquer medida implantada em um determinado lote. Conforme apresentado na Tabela 3.1, o uso conjunto dessas medidas compensatórias necessita de manutenção periódica para que o funcionamento de cada sistema esteja adequado, principalmente para suportar as grandes demandas pluviométricas. No Capítulo 7, “Recomendações”, constam maiores informações de manutenção para otimizar a operação dos diversos sistemas implantados.

Outro aspecto determinante na implantação das medidas não convencionais é o custo que cada uma delas possui sobre o valor global da obra. Mais adiante, esses valores foram avaliados separadamente, visando elaborar propostas de inclusão para políticas públicas e fornecer subsídios para a comunidade em geral.

3.7. Previsão antecipada de chuvas para sistemas de drenagem inteligente

Não existem especificamente na literatura estudos relacionados ao desenvolvimento de uma estrutura automática de controle pluvial para lotes urbanos. No entanto, algumas

referências que tratam de sistemas de alerta antecipado compõem de forma auxiliar a elaboração de projetos dessa natureza.

Basicamente, os sistemas de alerta funcionam mediante a emissão de um sinal que tem como objetivo prever e informar uma determinada região sobre um evento considerado como desastre natural. Conforme Andrade (2006), para que esses sistemas funcionem adequadamente, é imprescindível, além de algumas outras recomendações, a coleta dos dados hidrometeorológicos de monitoramento para sua devida distribuição.

Alguns estudos apresentam a drenagem inteligente, para escalas menores, como sendo aquela com potencial de garantir o suprimento da qualidade da água. Vasconcelos (2008) indica que a reservação de águas pluviais sem quaisquer parâmetros de seleção pode ocasionar sérios problemas de saúde.

As previsões em tempo real das precipitações utilizam modelos estimativos desde o final da década de 1980, conforme Foufula-Georgiou e Krajewski (1995).

Existe, portanto, uma infinidade de modelos hidrológicos e meteorológicos capazes de fornecer previsão de vazões. No entanto, observa-se que pouco se faz menção aos aspectos operacionais em sistemas de drenagem, como, por exemplo, utilizar-se dessa tecnologia para automatização de mecanismos que possam oferecer segurança e otimização de controle aos usuários-moradores.

3.8. O método do Soil Conservation Service no estudo das medidas não convencionais

O método apresentado pelo SCS (1957), para o cálculo do armazenamento e dos parâmetros que estabelecem as condições de permeabilidade do lote, utiliza a formulação composta pela Equação 3.19.

$$\frac{\text{volumeinFiltrado}}{\text{capacidademáxima}} = \frac{\text{precipitaçãoefetiva}}{\text{precipitaçãototal}} \quad (3.19)$$

Sabendo-se que o *volumeinFiltrado* pode ser estimado a partir da Equação 3.20:

$$\text{volumeinFiltrado} = \text{precipitaçãototal} - \text{precipitaçãoefetiva} \quad (3.20)$$

O valor da *precipitaçãoefetiva* Q é determinado pela Equação 3.21:

$$Q = \frac{P^2}{P + S^*}, \quad (3.21)$$

sendo

Q = o valor da precipitação efetiva;

P = a precipitação total; e

S^* = a capacidade máxima de armazenamento.

Considerando as perdas iniciais nesta relação e sabendo-se que em média elas representam 20% da capacidade máxima $S^* = S - I_a$, obtém-se a Equação 3.22.

$$Q = \frac{(P - 0,2.S)^2}{(P + 0,8.S)} \quad (3.22)$$

Esta equação vale para valores de $P > 0,2.S$, sendo que, para a hipótese inversa, o valor de $Q = 0$. A determinação da capacidade de armazenamento do solo S foi obtida pela relação entre o parâmetro CN a partir da Equação 3.23.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.23)$$

CN = a curva número válida para uma escala de 0 a 100; e

S = o armazenamento do solo (mm).

Tucci (2001) relaciona a precipitação acumulada e a vazão do escoamento superficial acumulada, a partir do método do SCS e das perdas iniciais, encontrando a Equação 3.24:

$$S = (P_{ac} - I_a) \left[\left(\frac{P_{ac} - I_a}{Q_{ac} - 1} \right) \right], \quad (3.24)$$

sendo

S = o armazenamento do solo (mm);

P_{ac} = a precipitação acumulada;

Q_{ac} = o escoamento superficial acumulado; e

I_a = as perdas iniciais.

Adotando a equação de S em função de CN , estima-se a Equação 3.25:

$$CN = \frac{25400}{\left\{ (P_{ac} - I_a) \left[\frac{P_{ac} - I_a}{Q_{ac} - 1} \right] + 254 \right\}} \quad (3.25)$$

A utilização da metodologia do SCS pode ser utilizada para os cálculos do CN e do armazenamento do telhado verde instalado no lote. As perdas iniciais $I_{a,obs}$ são observadas

pelo monitoramento e podem ser analisadas com o valor das perdas iniciais $I_{a, calc}$, estimado em 20% do armazenamento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A realização deste trabalho somente foi possível a partir da implementação do experimento em uma edificação real e habitável de caráter domiciliar. Em parceria com o proprietário, as medidas foram projetadas para causar o mínimo de incômodo possível aos moradores, uma vez que a coleta dos dados e a manutenção do sistema possuíam ordem periódica de acompanhamento e análise.

Este capítulo apresenta alguns cálculos de dimensionamento que foram necessários para a execução de determinados serviços, uma vez que sua instalação demandou projetos e planejamento antecipado ao início das obras.

O esquema da metodologia aplicada é apresentado a seguir na Figura 4.1, contemplando as principais atividades de execução desta tese. Este capítulo também descreve a localização da área de estudo e a atual situação de ocupação do lote, composto por áreas permeáveis e impermeáveis. Construtivamente, as medidas de reservação estão descritas neste capítulo a partir da execução das obras, contendo tanto os materiais, como a técnica utilizada.

Para a instalação do sistema de monitoramento, foram adotados equipamentos comerciais conhecidos e de alta resolução. Parte deste capítulo é dedicada ao monitoramento, com ênfase na instalação e no acompanhamento do sistema de coleta e calibração dos modelos utilizados.

Mais adiante, segue o layout básico de todas as instalações incorporadas no lote, bem como a tipologia construtiva adotada para cada sistema e suas especificações técnicas.

4.1. Modelo metodológico da pesquisa

Basicamente, a tese está dividida em três partes que se inter-relacionam, sendo:

- a) projeto e execução das medidas de reservação;
- b) implantação do sistema de monitoramento das medidas implantadas; e
- c) coleta e análise dos dados.

A partir de uma revisão do estado da arte das principais medidas não convencionais a serem aplicadas no lote, buscou-se a descentralização do sistema de gestão dos recursos hídricos, bem como a mitigação dos efeitos negativos da ocupação antrópica e a redução do impacto hidrológico na própria fonte geradora.

Após uma análise periódica em quantidade e qualidade da água escoada e utilizada, avaliaram-se as estruturas instaladas visando a promoção de subsídios para políticas públicas a partir do conceito de reservação d'água em lotes urbanos.

Com o gerenciamento das águas de escoamento do lote, obteve-se dados afins que permitiram encontrar valores indicativos de controle, como dados de eficiência da retenção hídrica e coeficiente de escoamento para diferentes cenários de ocupação.

Apresenta-se a seguir uma síntese metodológica da pesquisa, com as metas a serem atingidas mediante: a proposta de inclusão das medidas não convencionais de reservação d'água no lote, a análise de indicadores de qualidade e a quantidade de água reservada e a avaliação de desempenho das medidas instaladas, considerando eventos naturais em diferentes estágios sazonais (Figura 4.1).

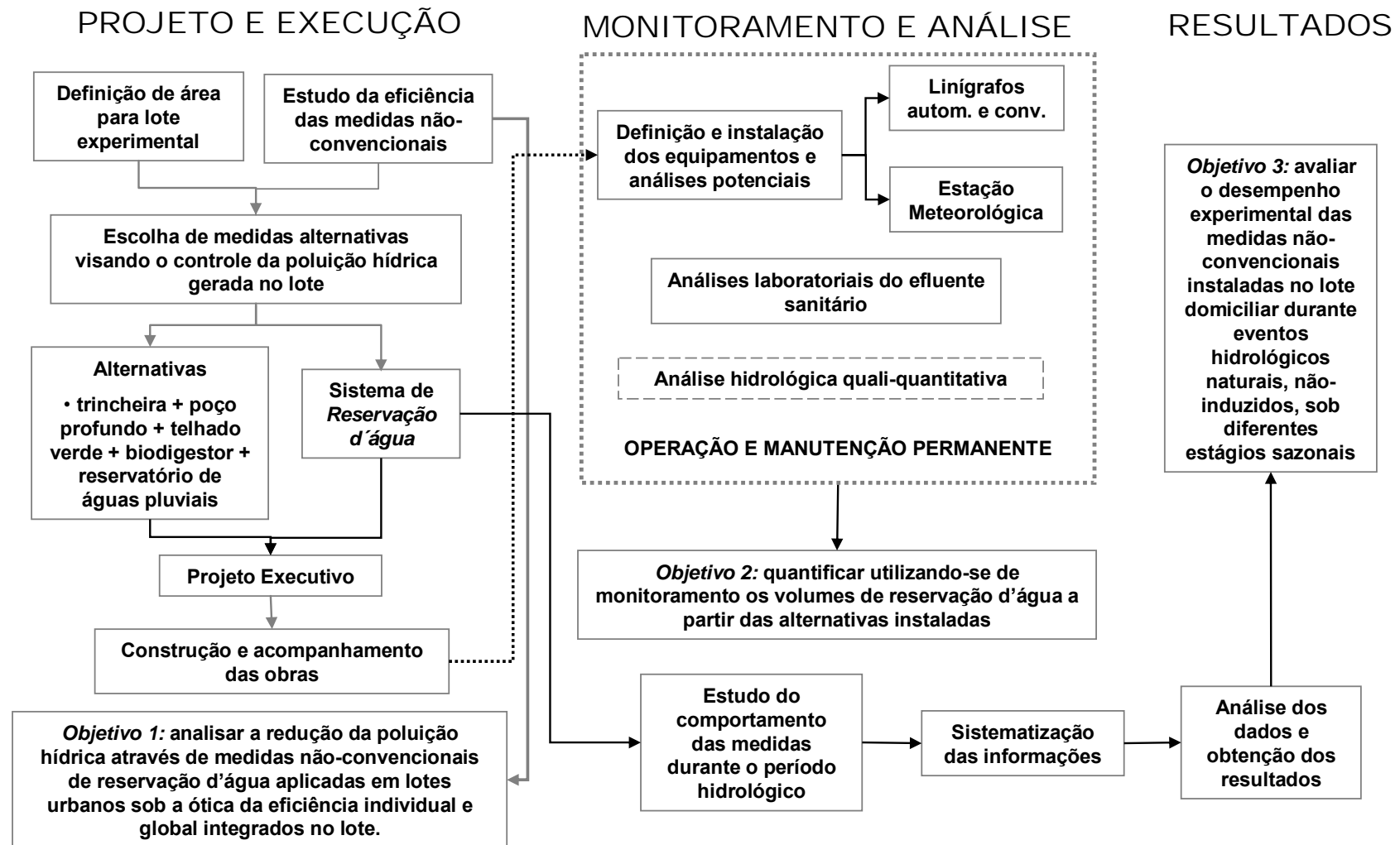


Figura 4.1 - Esquema síntese da metodologia abordada na tese.

4.2. Características geográficas do município de localização da área do experimento

A pesquisa utilizou parte de uma residência unifamiliar situada na cidade de São Carlos/SP. Com aproximadamente 192 hab./km², o município possui uma população residente em torno de 218.702 habitantes, conforme IBGE (2006). Na enciclopédia on-line livre e colaborativa *Wikipedia* (SÃO, 18 fev. 2007), no verbete “São Carlos – São Paulo”, encontram-se as principais características geográficas, demográficas e meteorológicas, conforme observadas na Tabela 4.1, a seguir. Os dados extraídos e apresentados foram avaliados e estão conforme diferentes literaturas, portanto, estão adequados para indicação.

Considerada antigamente como a Cidade do Clima, por possuir um clima seco e ameno, a cidade de São Carlos/SP é conhecida atualmente como a Capital da Tecnologia, devido à presença de várias indústrias de alta tecnologia e várias universidades, faculdades e outras instituições de ensino, como: USP, UFSCar, Unicep, Fadisc, Senac, Senai e Sebrae.

Tabela 4.1 - Características geográficas e meteorológicas do município de São Carlos/SP

N	Medida	Quantidade	Unid.
1	Área total	1.143,9	Km ²
2	Área urbana (~6%)	67,25	Km ²
3	Área rural	1.076,65	Km ²
4	Rumo	37°	NW
5	Latitude sul	22° 01' 10"	–
6	Longitude oeste	47° 54'	–
7	Altitude máxima	1.112	m
8	Altitude mínima	520	m
9	Altitude média	856	m

10	Clima	Tropical	–
11	Temperatura média	20°	C
12	Ventos predominantes	Nordeste	–
13	Evaporação real	485	mm
14	Evaporação potencial	995	mm
15	Média pluviométrica	1.476	mm
16	Pressão atmosférica média	690,7	mmHg

(SÃO CARLOS, 2005)

O local de instalação das medidas propostas situa-se em um condomínio com características de ocupação média, segundo o plano diretor do município (SÃO CARLOS, 2005). Embora distante aproximadamente 10 km do centro da cidade, a residência em questão está localizada em área periurbana (Figura 4.2), com novas construções no entorno indicando o aumento das condições de impermeabilização de uso e ocupação do solo da região.

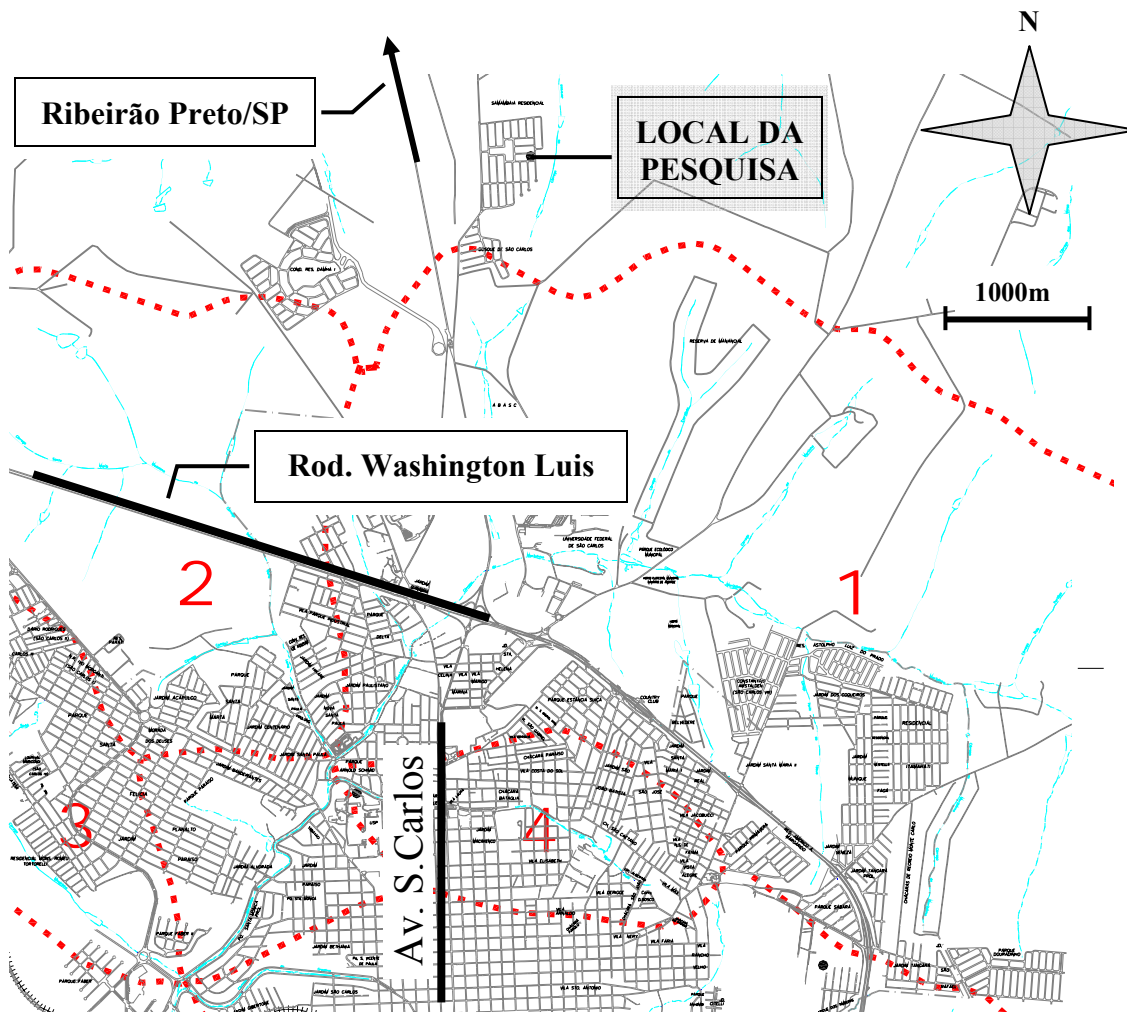


Figura 4.2 - Localização da área-lote de estudo - Município de São Carlos/SP.

4.3. Localização hidrográfica da área do experimento

Localizada no extremo norte das bacias do município, a área de estudo é contribuinte da Bacia do Córrego do Jararaca, que é um dos afluentes do rio Mogiguaçu.

4.3.1. Situação atual na região hidrográfica do lote experimental

Essa bacia sofreu, nos últimos anos, ocupações que demandaram processos de recuperação ambiental junto aos órgãos públicos responsáveis, como Ministério Público e Prefeitura Municipal. Áreas que anteriormente eram ocupadas por pastos e florestas foram transformadas em áreas residenciais e de arruamentos, devido à construção de um complexo de condomínios nas áreas de montante. Houve um acréscimo considerável de áreas impermeáveis que não foram previstas inicialmente no planejamento urbano municipal. Tal ocupação obrigou tomadores de decisões a proporem ações estruturais imediatas, uma vez que nos últimos anos foram freqüentes os alagamentos no bairro do Varjão, que fica a jusante da área ocupada. Até meados do segundo semestre de 2007, foram observados obras de reservatórios, escavação de canais e projetos de contenção das águas advindas das áreas montantes da região. Trata-se, portanto, de uma situação intransferível, que necessitou emergencialmente de medidas capazes de diminuir o déficit natural de infiltração das águas pluviais. E para que este passivo não interfira progressivamente no decorrer das ocupações propõe-se a seguinte base metodológica que está apresentada a seguir.

4.4. Definição, caracterização e tipologia da unidade experimental-lote

Durante a fase de construção da edificação, as medidas não convencionais foram projetadas para que houvesse o mínimo possível de interferências, principalmente nas tubulações de hidráulicas e de drenagem existentes. A fase de definição do projeto executivo aconteceu de maneira independente, embora houvesse uma necessidade de se relacionar com as medidas projetadas por esta tese. No entanto, as condicionantes para a locação das medidas alternativas foram consideradas em comum acordo entre o pesquisador, o engenheiro, o encarregado da obra e o usuário.

As características do terreno e da edificação encontram-se descritas na Tabela 4.2. A área da edificação principal construída em planta compreende dois pavimentos.

Tabela 4.2 – Características iniciais da área edificável

FASE I	m²
•Área do terreno	509,1
•Área da edificação construída	52,0
•Área útil da edificação construída	104,0
FASE II (planejamento futuro)	
•Área a construir	43,0
•Área útil a construir	86,0
•Total geral	190,0
COEFICIENTES	
•CO	19%
•CA	0,37

A fase I, correspondente à área existente, possui as dependências do banheiro no pavimento superior, que é destinado à suíte principal da edificação. O banheiro de uso comum dispõe de uma descarga sanitária, área para banho e limpezas. No pavimento inferior, concentra-se a cozinha, a sala de jantar e a despensa.

Na fase II, está prevista a extensão da edificação principal, interligando tanto o pavimento inferior quanto o superior. Como não compreende escopo desta tese, a fase II não será considerada como análise, exceto para duas situações:

- a) no uso e ocupação do solo; e
- b) no projeto de aproveitamento de águas pluviais.

4.5. Projeto básico

A partir da concepção inicial do projeto arquitetônico da edificação, o estudo definiu a incorporação das medidas de reservação d'água e o controle da poluição domiciliar. Para cada medida implantada foram selecionadas as áreas topograficamente mais bem localizadas, a fim de facilitar o escoamento por gravidade e evitar as possíveis interferências das tubulações de esgoto, água fria e águas pluviais.

As medidas de reservação e reúso de água foram implantadas mediante um planejamento prévio, que se deu conforme as condições do proprietário e de abrangência do projeto na área externa da edificação.

Após a execução das áreas edificáveis, inclusive acabamentos internos e de fachada, iniciaram-se as obras externas, ou seja, a execução das medidas não convencionais propostas por este projeto. A execução do projeto se organizou cronologicamente conforme a Tabela 4.3 a seguir. Para cada uma das etapas construtivas atestou-se a responsabilidade técnica, ART, por um profissional habilitado junto ao Crea.

Tabela 4.3 - Cronograma executivo das medidas implantadas do lote experimental

Implantação	Mês/Ano							
	06/ 2005	07/ 2005	08/ 2005	09/ 2005	10/ 2005	11/ 2005	12/ 2005	01/ 2006
Biodigestor séptico		■	■					
Telhado verde			■	■				
Trincheira de infiltração					■	■		
Microsala de controle e monitoramento						■	■	■
Sistema de reúso de águas			■	■				
Jardim	■	■	■					

O biodigestor séptico para a coleta e tratamento do esgoto sanitário com proposta de reúso de águas está localizado em uma das partes mais baixas do lote, a fim de aproveitar a declividade para passagem das tubulações. O telhado verde situa-se sobre o biodigestor, isto é, sua estrutura serve de cobertura para as instalações do sistema de tratamento de esgoto. Esta concepção de projeto visa propor o reúso do efluente líquido gerado pelo biodigestor para fertirrigação, considerando as devidas análises e propostas de tratamento e desinfecção.

Defronte a rua lateral, na outra parte mais baixa do terreno, encontra-se a trincheira de infiltração, cuja estrutura está posicionada de tal forma que possa receber tanto as águas pluviais que venham a escoar superficialmente pelo terreno como as águas provenientes do telhado da edificação da fase I. A água da edificação principal passa pelos coletores da calha, pelo condutor vertical e pela tubulação enterrada no solo, para, posteriormente, escoar em direção longitudinal à trincheira. A área destinada para o controle e monitoramento das medidas — microssala de monitoramento ou sala de controle — possui acesso independente da residência e dispõe de equipamentos para medição e programa para análise e coleta de dados.

Conforme descrito anteriormente, a fase II futura, além da construção habitacional remanescente, compreende também a instalação do reservatório para o aproveitamento das águas pluviais. Esta última etapa a ser construída encontra-se com a estrutura da fundação concluída (estacas e baldrame impermeabilizado), juntamente a contrapiso em concreto semi-acabado.

A Figura 4.3 ilustra o layout das instalações. Medidas em metros com identificação das medidas não convencionais adotadas para o lote domiciliar.

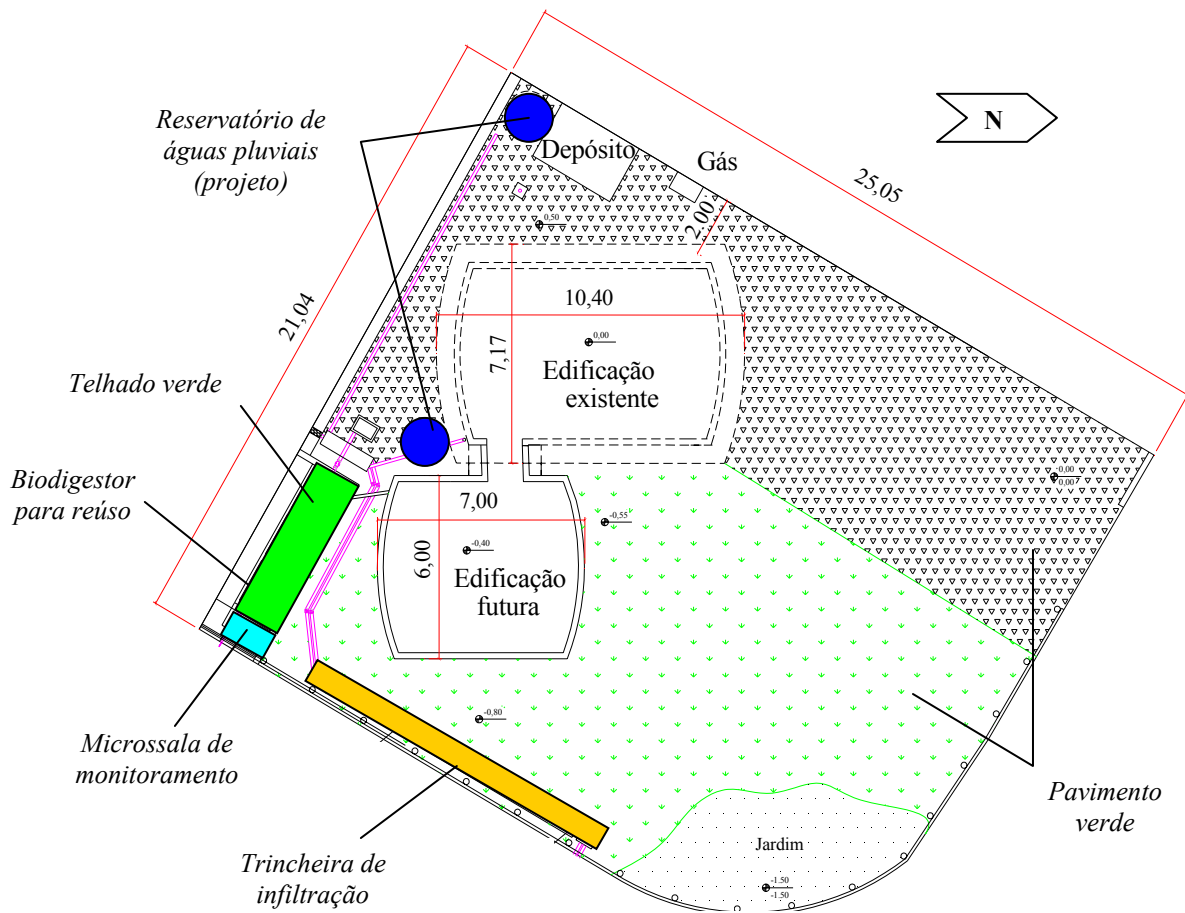


Figura 4.3 – Layout de localização e implantação dos dispositivos de controle de poluição hídrica no lote.

Mais adiante, encontra-se descrito detalhadamente cada uma dessas instalações, incluindo as etapas construtivas, os procedimentos adotados para cada uma delas, os custos envolvidos de implantação e análise de eficiência.

4.5.1. Classificação de uso e ocupação do solo do lote

Na Tabela 4.4 estão indicadas as áreas permeáveis e impermeáveis que compõem o lote como um todo, inclusive as áreas das caixas de passagem e de drenagem do terreno.

Tabela 4.4 - Classificação das áreas de uso e ocupação do solo no lote domiciliar

N	Tipo de uso	Área (m ²)	%	Área perm.	Área imperm.
1	Vegetação em grama	185,9	36,5	36,5%	–
2	Telhado verde	7,9	1,5	1,5%	–
3	Pedra britada	153,1	30,1	30,1%	–
4	Solo exposto em jardim	30,3	6,0	6,0%	–
5	Residência (existente e futura)	111,2	21,8	–	21,8%
6	Casa do gás	0,6	0,1	–	0,1%
7	Depósito dos fundos	6,0	1,2	–	1,2%
8	Canaleta do muro lateral	5,7	1,1	–	1,1%
9	Microsala e acesso	6,6	1,3	–	1,3%
10	Caixa de drenagem	0,9	0,2	–	0,2%
11	Caixa de passagem do esgoto	0,5	0,1	–	0,1%
12	Caixa do poço dos fundos	0,2	0,03	–	0,03%
13	Caixa de passagem de drenagem	0,4	0,07	–	0,07%
	Total	509,1	100,0	74,1%	25,9%

Esta tabela demonstra a preocupação do usuário-morador quanto às condições de uso e ocupação do solo no lote. Com uma contribuição de 75% de áreas permeáveis, o lote supera as exigências de Zoneamento da Macrozona Urbana e Perímetro Urbano do Plano Diretor do Município de São Carlos/SP (SÃO CARLOS, 2005), que estabelece o CP igual a 15%. De acordo com o plano diretor, o lote está incluso na Zona de Ocupação Condicionada — Zona 2 —, sendo composto por áreas predominantemente de uso misto do território com grande diversidade de padrão ocupacional. O artigo 28, da Seção II, da Zona de Ocupação Condicionada, apresenta como uma das características a presença de áreas com carência em infra-estrutura de drenagem. O mesmo documento aponta que esta zona também se

caracteriza pela ocorrência de loteamentos com uso misto consolidado interferindo nos contratos de loteamentos a serem regularizados por meio de outorga onerosa de alteração de uso do solo.

Essas características impuseram diretrizes para esta zona, como: promover medidas necessárias para assegurar as condições urbanísticas e ambientais, equacionar os futuros conflitos de uso e ocupação do solo e estabelecer que os novos parcelamentos garantam o provimento da infra-estrutura de acordo com o impacto que sua implantação acarrete nas imediações, além das exigências previstas na legislação que trata do parcelamento do solo.

A adequação e o planejamento de lotes com redução dos impactos hidrológicos, de forma parcimoniosa em relação ao uso do solo, contribuem no provimento dessas diretrizes, fornecendo subsídios para a implementação de políticas públicas mais eficientes.

4.6. Execução das obras

A opção pelas estruturas alternativas mencionadas deve-se à proposição de soluções que visam restringir o aumento das vazões afluentes à rede de drenagem e da poluição na rede de esgoto sanitário. Canholi (2005) apresenta, como objetivo de aplicação de dispositivos de reservação, reduzir os picos das vazões no sistema de drenagem. A utilização de tais estruturas tende a amortecer as ondas de cheia, cuja obtenção se dá em parte pelo armazenamento do volume escoado na fonte geradora.

Pompêo (2000) salienta que a rede de galerias deve estar capacitada e preparada para atender e atuar independentemente, para não agravar o problema de inundações no caso do emprego de determinadas técnicas, como, por exemplo, dos armazenamentos temporários e difusos.

A utilização desses elementos estruturais em lotes urbanos necessita de um comprometimento e acompanhamento por parte do usuário, principalmente pela necessidade de inspeção periódica e manutenção.

4.6.1. Montagem do biodigestor séptico

A geração de águas servidas compreende as que são utilizadas para higiene pessoal, limpeza domiciliar e cocção de alimentos. Parte dos recursos utilizados nesse processo digester representa o esgotamento sanitário. Através do sistema da fossa séptica biodigestora, elementos patogênicos podem se transformar em adubos orgânicos através da biodigestão, conforme a Embrapa (2004). A fossa biodigestora torna-se uma solução de rápida execução e montagem, que é composta por três tanques sépticos multicâmara de 1.000 litros cada, sendo as duas primeiras câmaras conectadas em série ao vaso sanitário da moradia, e a terceira acoplada às duas primeiras, servindo para a coleta do adubo orgânico gerado. O uso deste biodigestor permite, após tratamento e análise, a utilização do efluente gerado como adubo orgânico para diversas finalidades, sendo que, para este trabalho, a proposta de reúso será na forma de irrigação de jardins, após análises laboratoriais.

O sistema de caixas acopladas foi conectado direta e exclusivamente ao vaso sanitário. Não é recomendado o tratamento da água total do banheiro, como a do chuveiro e a do lavatório, e também da pia da cozinha, pois são elementos de descarga não participativos eficientemente do processo de decomposição do efluente composto.

Após a devida escavação das valas para o posicionamento das caixas, foi executado uma alvenaria de proteção ou de isolamento com tijolos cerâmicos maciços de dimensões 4,5 × 9 × 19 cm no entorno do biodigestor, para garantir uma maior segurança aos moradores. Utilizaram-se como materiais de construção: tijolo maciço comum e armaduras de aço do tipo

CA-50, conforme estimativa de cálculo realizado por profissional habilitado. A argamassa utilizada foi traço misto de 1:2:9, sendo, respectivamente, cimento, cal hidratada e areia. O revestimento de alvenaria foi composto por chapisco no traço 1:3 (cimento e areia), com posterior camada de reboco e aditivo impermeabilizante em ambas as faces da alvenaria, interna e externa, sendo que, na do lado do solo — interna —, optou-se por utilizar também uma lona preta plastificante para reforçar a impermeabilização do muro de alvenaria em contato com o solo.

Após a execução do muro em alvenaria de proteção e respectivo revestimento, posicionaram-se as três caixas de fibrocimento no interior das valas, acompanhadas da instalação dos acessórios e dos tubos de PVC de ligação, conforme lista de material apresentada na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Relação de materiais utilizados para montagem do biodigestor

Quant.	Unid.	Descrição do material
03	pç	Caixa de fibrocimento (1.000 L)
06	m	Tubo de PVC para esgoto (100 mm)
01	pç	Válvula de retenção de PVC (100 mm)
02	pç	Curva de 90° curta de PVC (100 mm)
03	pç	Luva de PVC (100 mm)
02	pç	Tê de inspeção de PVC (100 mm)
10	pç	Anel o'ring (100 mm)
02	m	Tubo de PVC soldável (25 mm)
02	pç	CAP de PVC soldável (25 mm)
02	pç	Flange de PVC soldável (25 mm)
01	pç	Flange de PVC soldável (50 mm)
01	m	Tubo de PVC soldável (50 mm)
01	pç	Registro de esfera de PVC (50 mm)
02	tubo	Cola de silicone (300 g)
25	m	Borracha de vedação (15 × 15 mm)
01	tubo	Pasta lubrificante para juntas elásticas em PVC rígido (400 g)
01	tubo	Adesivo para PVC (100 g)
01	litro	Neutrol
02	fls	Lixa comum (nº 100)

No interior das caixas foram utilizados componentes de aditivos impermeabilizantes e plastificantes para assegurar possíveis vazamentos decorrentes da umidade do solo e dos efeitos de movimentação do terreno.

A alvenaria de proteção foi construída para isolar a área e garantir maior segurança quanto à ocorrência de possíveis quedas e invasões. Dependendo da sua localização em planta, o sistema de caixas em série pode ficar totalmente enterrado, sem a necessidade da execução de muros de isolamento.

Finalizada a montagem do biodigestor e da alvenaria no seu entorno, realizou-se o preenchimento das laterais das caixas com o solo retirado pelo corte do terreno, a fim de proporcionar o devido isolamento térmico do composto no interior das caixas.

Para a coleta do efluente tratado foram projetadas, na saída da terceira e última caixa, duas aberturas, sendo que ambas possuem registros do tipo esfera para uma combinação de resultados do fechamento: um para realizar a coleta e o outro para permitir a saída do efluente diretamente para a rede pública.

Entre uma caixa e outra, foram interligados tês de inspeção para casos de manutenção ou entupimento do sistema. As tampas das três caixas foram vedadas com borrachas de vedação apropriadas de no mínimo 15×15 mm e, na ligação entre estas caixas, foram instalados tubos de PVC de 4", com curva de 90° do tipo curta. Todos os tubos e conexões foram vedados na junção com a caixa através de cola de silicone.

Imediatamente antes do registro de esfera, que permite a realização da coleta do efluente gerado, foi acoplado um tê de derivação com um tubo transparente de diâmetro de 25 mm na vertical para efetuar leituras e verificar o nível de enchimento da terceira caixa, que é destinada exclusivamente para a reservação do efluente doméstico.

As imagens da Figura 4.4 ilustram seqüencialmente as etapas e detalhes de construção do biodigestor, que são: impermeabilização das caixas, área destinada para construção, passagem de tubulações, elevação do muro de proteção, posicionamento das caixas, recobrimento e coletores para análise e despejo do efluente tratado.

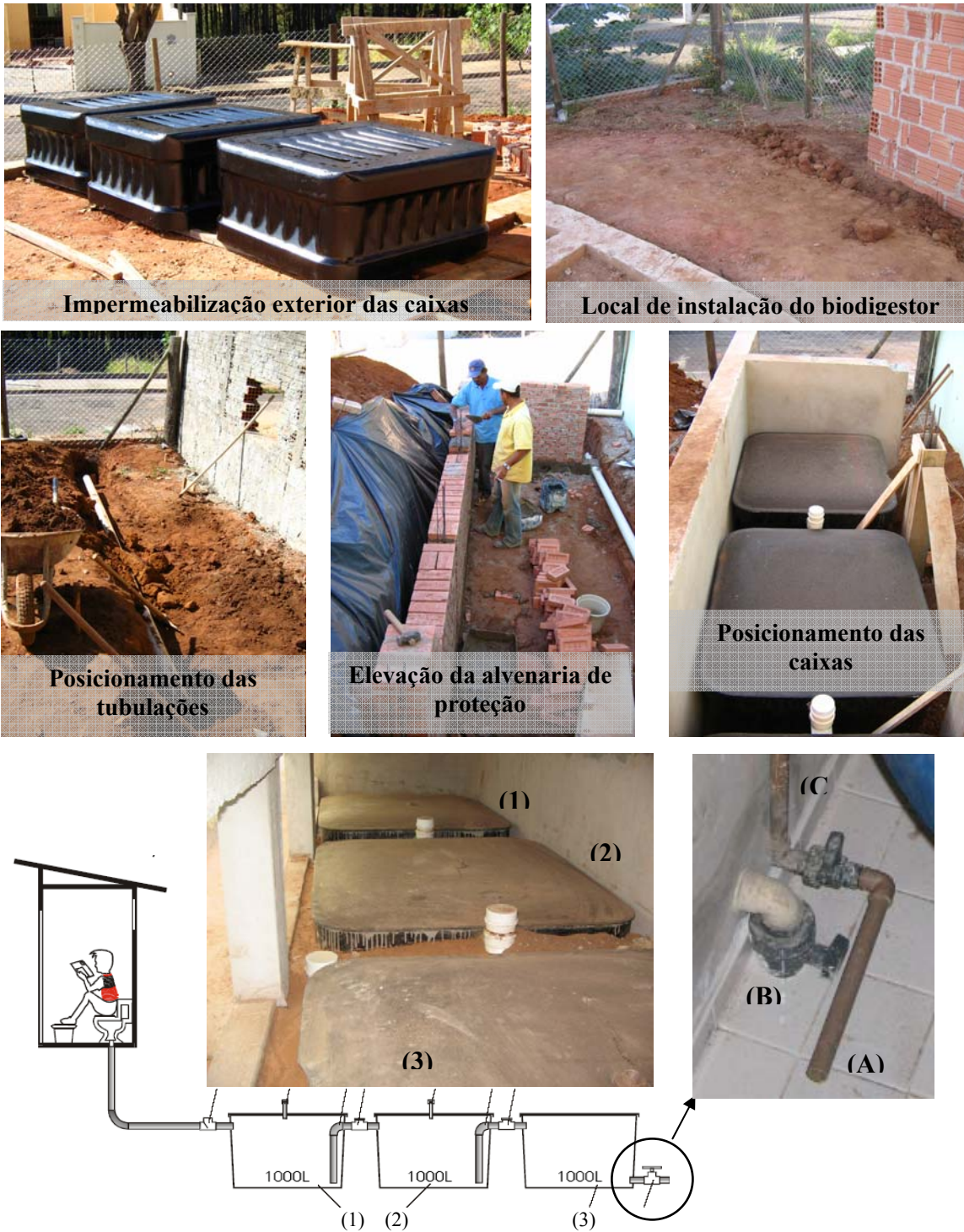


Figura 4.4 - Etapas e detalhes da construção do biodigestor séptico. (1) e (2): reservatório de tratamento; (3): reservatório de armazenamento; (A): ponto de coleta do efluente; (B): registro de saída para a rede pública; (C): mangueira de leitura de nível do reservatório de armazenamento.

A fim de melhorar a filtração do efluente tratado, adicionou-se na terceira caixa uma camada de areia grossa e outra de brita. Estes ingredientes foram compostos de brita 3, 1 e areia grossa lavada previamente (Figura 4.5).

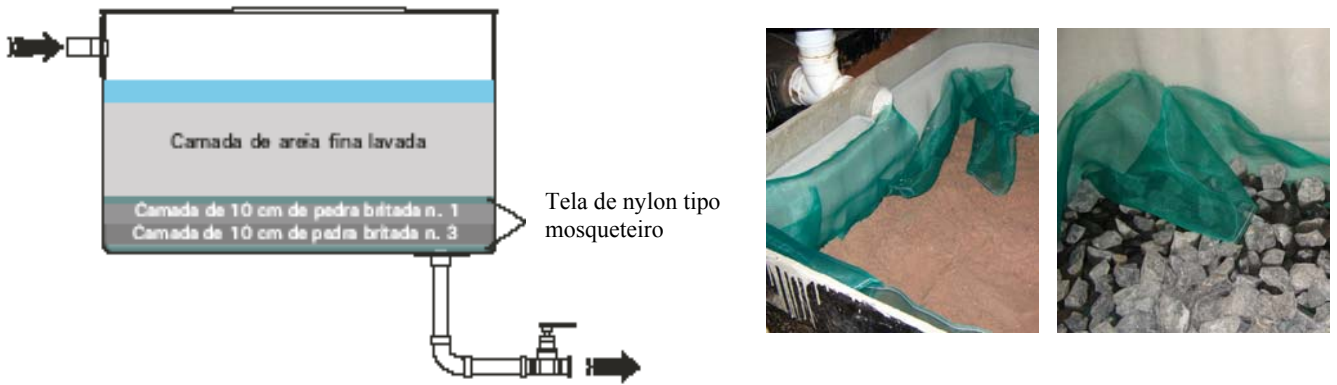


Figura 4.5 - Esquema de composição das camadas filtrantes da terceira caixa: 10 cm de brita nº 3 + 10 cm de brita nº 1 + 30 cm de areia lavada para a remoção da matéria orgânica gerada, com tela de nylon.

O efluente líquido pode ser armazenado e posteriormente bombeado para a fertirrigação do telhado verde. Devido ao fato de este biodigestor não passar por processos de tratamento do efluente que tornem possível o seu uso potável, sugere-se que o seu reúso seja feito apenas em irrigação de teto verde ou em áreas externas molháveis, após devidas análises em laboratório.

A granulometria das britas utilizadas deve satisfazer à NBR 7217/87, *Agregados: determinação da composição granulométrica*, conforme Tabela 4.6. Os itens grifados indicam as britas utilizadas na filtração, de número 1 e 3.

Tabela 4.6 - Granulometria das britas utilizadas

Nomenclatura	Dimensões dos grãos
Pedrisco	0 a 4,8 mm
Brita nº 0	4,8 a 9,5 mm
Brita nº 1	9,5 a 19 mm
Brita nº 2	19 a 25 mm
Brita nº 3	25 a 38 mm
Brita nº 4	38 a 64 mm

4.6.1.1. Estimativa de tempo de residência do efluente gerado no biodigestor

A utilização dos ingredientes acima descritos, brita e areia, na composição da terceira caixa do biodigestor, reduziu o volume útil de armazenamento do efluente gerado. Este indicativo é necessário para o cálculo do tempo máximo de fechamento do registro de esfera. Este registro, conforme apresentado, tem a função de liberar o efluente gerado para a rede pública e, ao mesmo tempo, garantir o seu armazenamento visando a realização de coleta e de análises laboratoriais de saída.

Para a estimativa de cálculo do volume de armazenamento do efluente gerado, foram consideradas como referência as seguintes informações, coletadas após ensaio em campo:

- para 18 litros de brita, preenche-se com 9 litros de água;
- para 18 litros de areia parcialmente úmida, preenche-se com 6 litros de água.

Estes dados auxiliam no cálculo do índice de vazios a preencher na caixa, o que corresponde a:

- brita = 50% de vazios;
- areia = 33% de vazios.

Após consulta à referência ABNT NBR 7251/82, estes parâmetros conferem o índice granulométrico postulado de 50% de índice de vazios para brita e valor médio aproximado de 38% para índice de vazios de areia, conforme Campiteli e Silva (2006).

Os dados da Tabela 4.7, a seguir, apresentam as características físicas da caixa de reservação do efluente, bem como as dimensões de preenchimento dos ingredientes utilizados, a fim de compor o volume útil de reservação.

Tabela 4.7 – Características de composição do volume do efluente a reservar

		Caixa d'água	Brita nº 1	Areia	Volume útil de reservação
Capacidade	litros	1.000	–	–	470
Comprimento	m	1,25	1,25	1,25	–
Largura	m	1,45	1,45	1,45	–
Altura	m	0,66	0,25	0,25	–
Volume	m ³	1,20	0,4531	0,4531	–
Índice de vazios	%	–	50	33	–
Volume útil ocupado	m ³	–	0,2266	0,3036	–
Volume útil ocupado	litros	–	226,56	303,59	–

Considerando que, após levantamento e entrevista com o usuário, utiliza-se aproximadamente 3.000 litros de volume de descarga no mês, estima-se um tempo de residência máxima de 4,5 dias, conforme detalhado na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Tempo de residência do efluente gerado no biodigestor

Descrição	Unid.	Quant.
Número de descargas/dia	unid.	17
Volume de uma descarga	litros	6
Volume de descargas/dia	litros	102
Tempo de residência do efluente	dias	4,6

4.6.2. Construção civil do telhado verde

A construção do teto verde compreendeu uma estrutura que cobre o sistema do biodigestor. A estrutura da laje foi utilizada tanto para o recebimento da camada vegetal como para a proteção e a valorização do espaço no interior do lote. Embora sua utilização possa interferir no processo de decomposição do sistema de biodigestão, devido à ausência de insolação direta nas caixas, o telhado verde foi executado com a proposta de diminuir, além dos impactos hidrológicos da edificação, o impacto visual da instalação das caixas do biodigestor.

Devido às condições topográficas do terreno, executou-se, em uma das laterais do biodigestor, a elevação de um pequeno muro de arrimo com pilares e vigas em concreto armado, sendo a cobertura do teto verde em estrutura de laje pré-moldada. Os serviços para o dimensionamento final dessa parede de proteção e segurança, com altura aproximada de 1,10 metros foram: escavação manual de brocas para preenchimento em concreto com armação; implantação de vigas baldrame de apoio, pilares e vigas de sustentação; construção de muro de arrimo; aplicação de revestimentos e acabamentos finais, inclusive pintura.

O projeto executivo dessa instalação encontra-se na Figura 4.6:

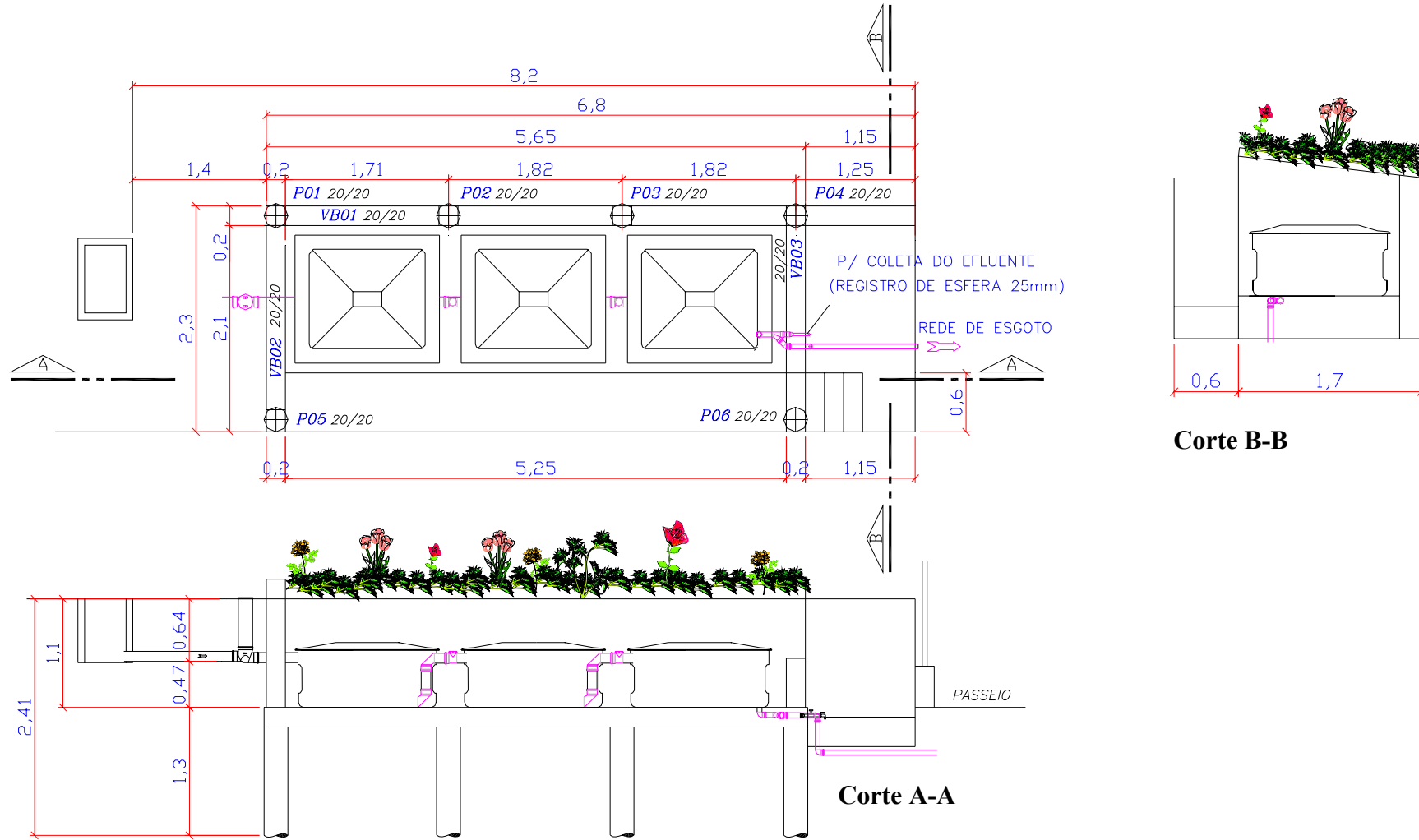


Figura 4.6 - Projeto executivo da estrutura do telhado verde e proteção estrutural do biodigestor. Medidas em metros.

A resina utilizada para a impermeabilização da cobertura denomina-se Impermaster-M Âmbar, é um impermeabilizante biocomponente à base de poliuretano de origem vegetal fornecido em parceria com a Construquil Polímeros Indústria e Comércio Ltda., e que é especialmente projetado para o controle de infiltrações em reservatórios e estações elevatórias. Antes da aplicação da resina impermeabilizante, foram retiradas as impurezas superficiais através de vassoura e aspirador de pó (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Obras civis do telhado verde, limpeza e aplicação de resina impermeabilizante.

A estrutura do telhado foi executada com laje pré-moldada do tipo $\beta 8$, dimensões de $1,60 \times 5,85$ m e declividade de aproximadamente 3%. A fim de se manter o perfeito escoamento na superfície da cobertura, adotou-se a construção de uma pequena platibanda com 12 cm de altura em seu entorno através da composição de duas camadas de tijolo maciço, seguida de revestimento com aditivo impermeabilizante em reboco.

Na linha superficial mais baixa do telhado, ou seja, nos pontos de saída do escoamento superficial, foram posicionados quatro drenos de saída que estão fixados junto à platibanda inferior. A partir deles, foram acoplados tubos de PVC de 2" com acessórios de junções e cotovelos de 90° de 2". Estas ligações direcionam o escoamento para um reservatório de 320 litros, que serve para coletar, armazenar e analisar a água da chuva proveniente do telhado verde, visando o seu aproveitamento. Antes da exposição e fixação da manta geotêxtil, foi posicionado um tubo perfurado de PVC de 2" como elemento

filtrante imediatamente antes dos drenos de saída, encostado na platibanda, na seção longitudinal (Figura 4.8).



Figura 4.8 - Posicionamento do dreno, furação e sentido do escoamento sobre o teto verde.

A manta Macdrain-2L, instalada conforme a Figura 4.9, faz parte de uma série de compostos geotêxteis, que fornece resistência e filtragem dos elementos do solo. A aquisição deste produto foi uma cortesia da empresa Maccaferri.



Figura 4.9 - Aplicação de manta geotêxtil, substrato e plantio para composição do telhado verde.

Toda a cobertura teve sua estrutura revestida com geomanta, inclusive as bordas de recobrimento e a platibanda. A parte superior também foi revestida com a geomanta, a fim de proteger a camada impermeabilizante contra a entrada de insetos e sujeiras. Sobre este revestimento, utilizou-se cobertura em solo, constituída por adubo e terra. A vegetação selecionada para a composição deste telhado verde compõe-se basicamente de hortaliças e temperos, como hortelã, alecrim, pimentinha, manjeriço e outros.

O escoamento superficial caminha através do dreno de saída em direção a um reservatório de plástico de 320 litros, situado na microssala ou sala de monitoramento. A opção por este volume de armazenamento foi devido à adequação do espaço físico. Suas instalações incluem um extravasor e uma saída de limpeza e/ou esgotamento da caixa, que é realizada a partir de um registro de esfera (Figura 4.10).

Para a capacidade de armazenamento do reservatório atender às precipitações superiores, foram instalados dois extravasores que possibilitam o escoamento da água reservada: o primeiro escoo para a área do jardim do lote, e o segundo, para a rede pública. O dreno-ladrão que escoo para as áreas externas do próprio lote torna-se um elemento que traz consigo a possibilidade de recarga do aquífero, uma vez que as áreas são permeáveis em grama. O despejo do segundo dreno foi direcionado externamente para a microdrenagem a partir de dois tubos de PVC de 2”, sendo um do reservatório do telhado verde e outro do ralo de limpeza da microssala de monitoramento.

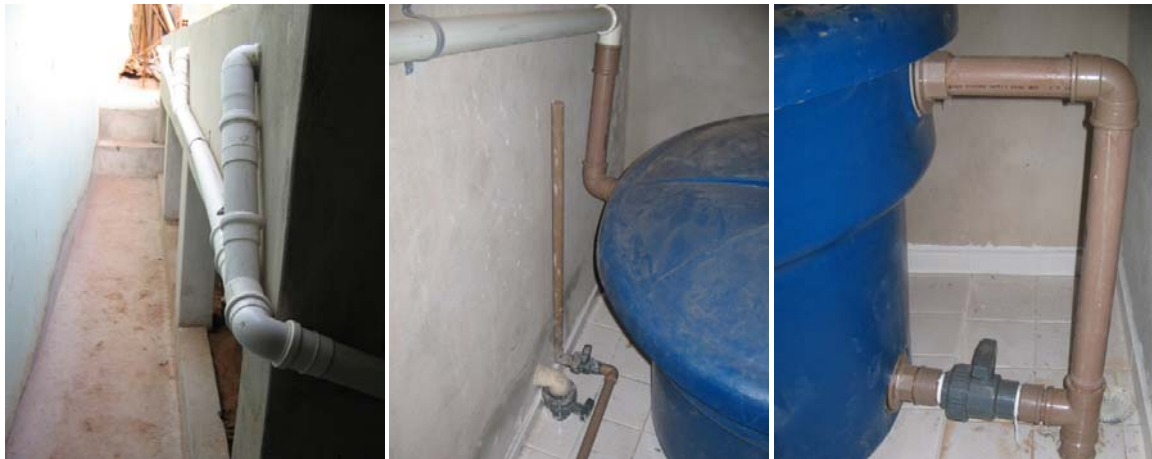


Figura 4.10 – Drenos de saída do teto verde com reservatório de captação, extravasor e registro de esfera para manutenção e limpeza.

A seqüência construtiva de montagem do telhado verde segue como sugestão de proposta de execução. A utilização dos materiais teve como base a conceituação adotada por Almeida Neto et al. (2005) após estudo hidrológico de CVL como alternativa para o controle do escoamento e análise quali-quantitativa.

4.6.3. Dimensionamento da trincheira de infiltração visando à elaboração do projeto executivo com monitoramento

Tendo como base o modelo proposto por Philip para o dimensionamento da trincheira de infiltração, descrito no Capítulo 3.3.1.1., “REM: método de dimensionamento da trincheira”, e levando-se em conta a disponibilidade espacial do lote em estudo, foram assumidas as seguintes condições, de acordo com a Tabela 4.9:

Tabela 4.9 - Hipóteses de cálculo para o dimensionamento da trincheira

Dado	Discriminação	Valor	Unid.
t	Tempo ou duração da chuva	1.800	s
T	Período de retorno	2	anos
$A_{edif.}$	Área contribuinte da edificação futura	39,00	m ²
A_{grama}	Área contribuinte em grama	122,00	m ²
C_{edif}	Coefficiente de escoamento p/ edificação	0,90	–
C_{grama}	Coefficiente de escoamento p/ grama	0,15	–
C	Sortividade do solo	0,00571	m ³ /s·m ²
H	Altura útil da trincheira	0,70	m
L	Comprimento da trincheira	5,00	m
\varnothing_b	Porosidade da brita	45	%

A Figura 4.11 ilustra o sentido do escoamento superficial sobre o lote, com a definição das áreas de contribuição da trincheira. Foram contabilizadas aproximadamente 39 m² de área impermeável e 121 m² de área permeável em grama, conforme a Tabela 4.9.

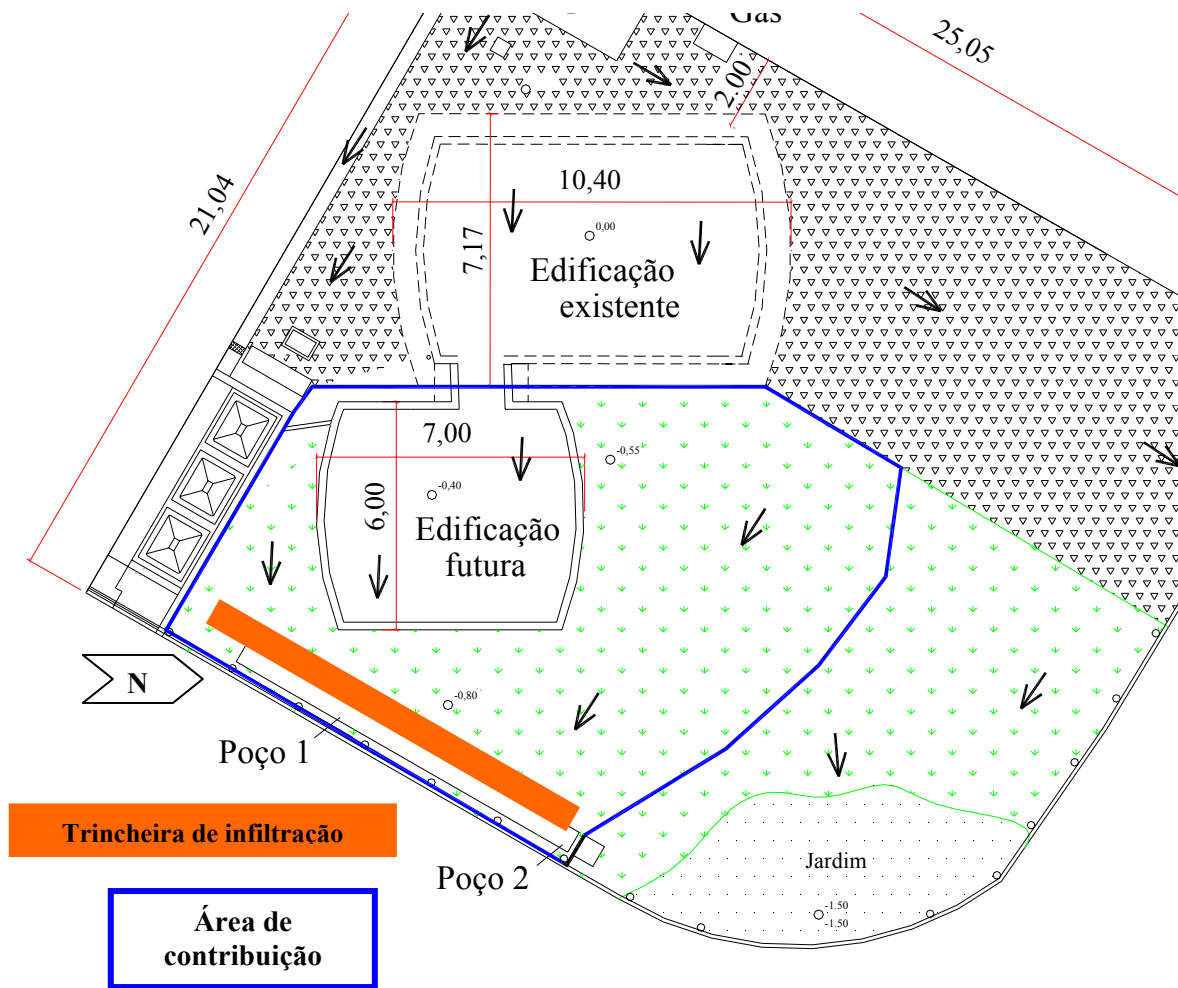


Figura 4.11 - Área de contribuição e sentido do escoamento superficial para a trincheira de infiltração.

A partir da curva IDF local (Equação 3.4), obteve-se a intensidade de chuva i :

$$i = \frac{1519 \cdot T^{0,236}}{(t + 16)^{0,935}} = 49,9 \text{ mm/h} = 1,39 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Posteriormente, a partir do coeficiente adotado para cada cobertura de uso do solo, obteve-se o cálculo de volume precipitado pela fórmula do método racional (Equação 3.5) para cada uma das áreas permeáveis e impermeáveis do lote:

$$Q_{edif} = 0,278.C_e.i.A = 0,000487m^3 / s = 0,487L / s$$

$$Q_{grama} = 0,278.C_e.i.A = 0,000254m^3 / s = 0,254L / s$$

Somando-se os valores escoados, espera-se a vazão final escoada pelo lote, nas condições observadas:

$$Q_{final} = 0,000741m^3 / s = 0,741L / s$$

Multiplicando-se esta vazão pelo tempo t considerado, chega-se ao valor de volume precipitado V_{prec} :

$$V_{prec} = 1,33m^3$$

A infiltração acumulada I é dada pela Equação 3.7:

$$I = C\sqrt{t} = 0,2423m^3 / m^2$$

Com este valor e a partir da Equação 3.9, chega-se ao volume infiltrado V_{inf} :

$$V_{inf.} = I \cdot L \cdot H = 0,85m^3$$

Finalmente, com base na Equação 3.11, obtém-se o volume útil da trincheira V_t , que considera, no caso, a porosidade \emptyset_b da brita:

$$V_t = \frac{[(i \cdot t \cdot A_d) - (I \cdot L \cdot H)]}{\phi_b} = 1,08m^3$$

Adota-se a Equação 3.10 para o cálculo do volume efetivo de armazenamento

$V_{a,ef}$ da trincheira, sendo:

$$V_{a,ef} = (i \cdot t \cdot A_d) - (I \cdot L \cdot H) = 0,49m^3$$

Os cálculos permitem concluir o dimensionamento da trincheira para duas seções distintas, conforme a Tabela 4.10:

Tabela 4.10 - Dimensionamento da trincheira para duas seções distintas e a projeção efetuada para o lote em estudo

Dimensionamento	Calculado		Projetado
Seção	Retangular	Trapezoidal	Trapezoidal
Largura B (m)	0,31	0,31	0,70
Largura b (m)	–	0,30	0,50
Altura H (m)	0,70	0,70	0,75
Comprimento L (m)	5,00	5,00	12,60
Volume útil (m³)	1,08	1,08	5,67

Embora a execução da obra tenha se antecipado por conta do período das chuvas e da disponibilidade da mão-de-obra no decorrer dos serviços, o dimensionamento foi realizado para atender às condições de cálculo projetadas. As seções indicadas representam um volume útil projetado superior ao valor estimado nos cálculos, devido à possibilidade de incremento de área futura impermeável.

A trincheira visa absorver parte do escoamento superficial das águas provenientes do telhado da edificação principal através de duas tubulações em PVC de 4" e do escoamento das áreas de contribuição, conforme exposto na Figura 4.11. A Figura 4.12 ilustra o projeto da trincheira executada no lote e especificações técnicas de material e revestimentos utilizados.

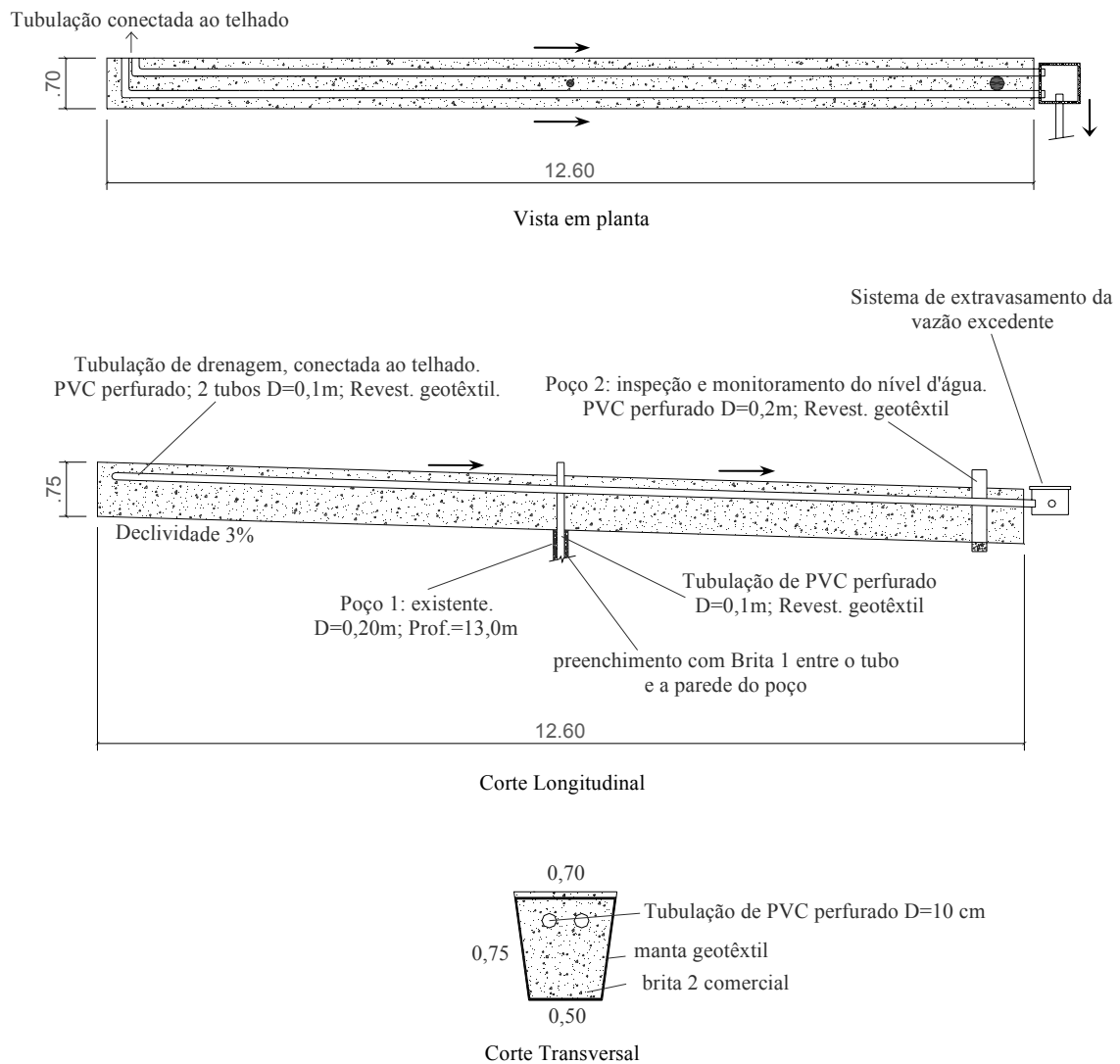


Figura 4.12 - Projeto executivo da trincheira do lote urbano (Graciosa et al, 2007).

Os poços 1 e 2, na metade e na extremidade jusante, respectivamente, da trincheira, possuem monitoramento de nível contínuo. O sistema de saída de vazão excedente na parte mais baixa da saída da trincheira possui monitoramento de quantidade e

de qualidade de água que escoar sobre o lote. Nos capítulos seguintes, constam maiores detalhes a respeito do monitoramento realizado na trincheira, bem como dos equipamentos utilizados.

Para a caracterização do solo, foi feita a análise granulométrica conjunta, conforme NBR-6502 e NBR-5734/80. Sua composição é apresentada em detalhes na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Composição granulométrica do solo no lote

Tipo de solo	%
Areia grossa	5,0
Areia média	38,0
Areia fina	21,0
Silte	11,9
Argila	24,1

A Figura 4.13 ilustra graficamente a granulometria do solo encontrada no lote.

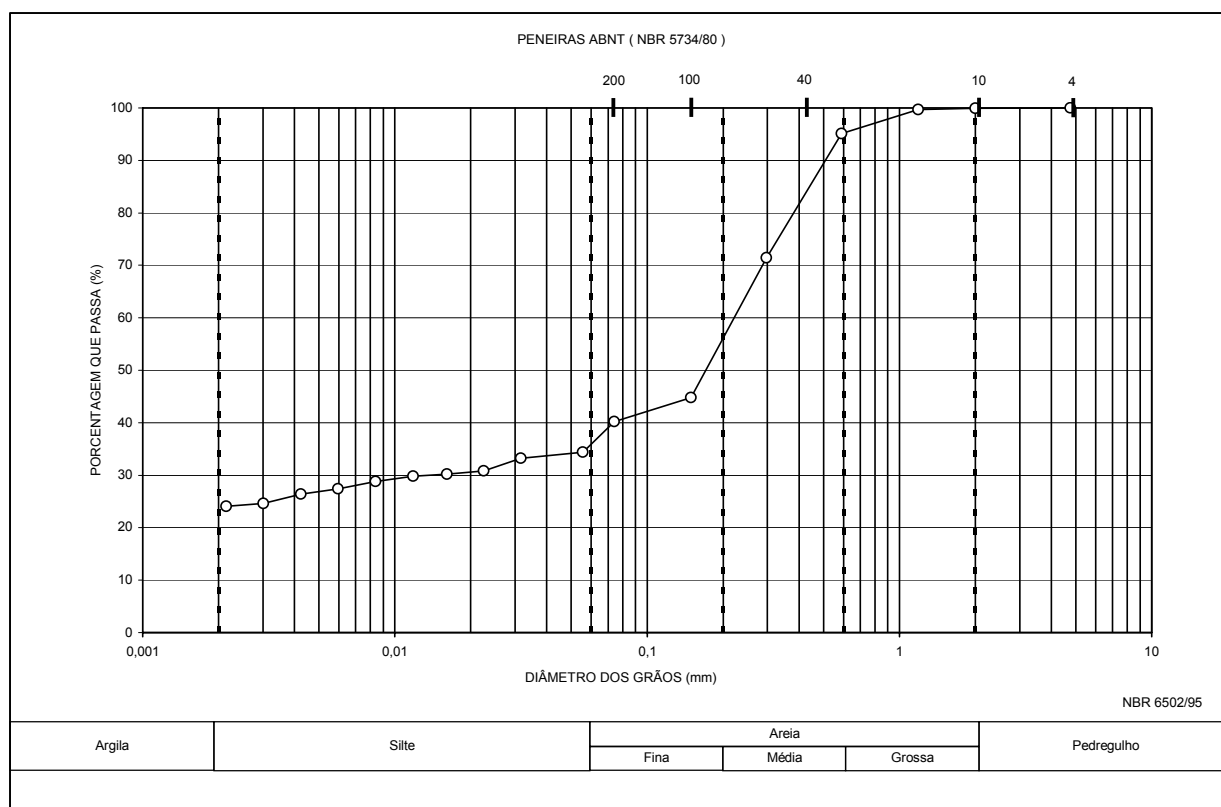


Figura 4.13 - Composição granulométrica do solo (GRACIOSA et al., 2007).

Basicamente, o solo da trincheira foi classificado como *areia média a fina marrom claro*. Segundo Graciosa (2005), em experimentos de campo com trincheiras de infiltração em duas areias distintas (*fina e média*), a granulometria do solo acarretou pequena variação no volume de infiltração da trincheira.

4.6.4. Execução da trincheira de infiltração

Constituídas de valetas revestidas ou não superficialmente por vegetação, as trincheiras têm como finalidade última favorecer a infiltração. Canholi (2005) adverte que a proteção dessas valetas com solo e vegetação pode ser importante para a conservação da superfície mais permeável do solo, que pode provocar a colmatção por parte da decantação das partículas mais finas.

A execução da trincheira iniciou-se com a escavação da vala, que foi aberta com as seguintes dimensões $0,75 \times 0,80 \times 13,00$ m (largura \times profundidade \times comprimento).

As tubulações provenientes da descarga do telhado em direção à trincheira foram perfuradas e revestidas com manta geotêxtil, assim como toda a superfície interna da trincheira (Figura 4.14).



Figura 4.14 - Revestimento em manta geotêxtil da valeta escavada e cobertura de preenchimento com brita para formação da trincheira de infiltração.

Em seguida, as valetas foram preenchidas com brita de número 3. Após o aterro da trincheira e a regularização do solo, levemente compactado, foi plantada cobertura vegetal em grama para dar o acabamento final (Figura 4.15). Foram deixados poços de monitoramento no ponto intermediário e a jusante da trincheira para medições de quantidade e qualidade da água. Mais adiante, apresenta-se todo o detalhamento deste projeto, com as suas respectivas especificações.

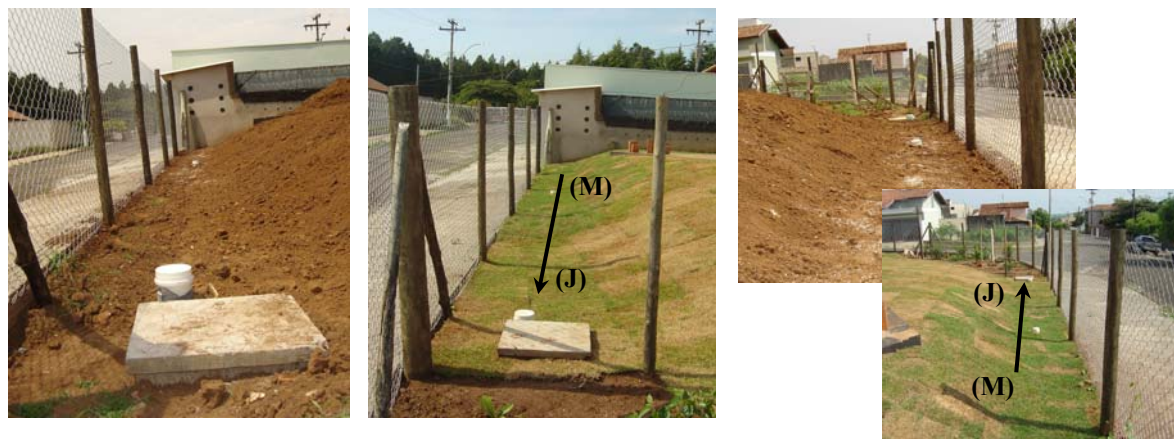


Figura 4.15 – Vistas montante (M) e a jusante (J) do sentido do escoamento sob a trincheira de infiltração.

A seguir, descrevem-se maiores detalhes a respeito do monitoramento realizado nas medidas implantadas, desde a fase de instalação dos equipamentos até as melhores alternativas encontradas para o seu uso específico, inclusive suas características funcionais e de operação.

4.7. Monitoramento das medidas não convencionais de reservação d'água instaladas no lote

O monitoramento das medidas de reservação d'água compreende parte do processo de acompanhamento contínuo dos aspectos quantitativos e/ou qualitativos das águas urbanas. Foram instalados alguns equipamentos de medição de nível, temperatura, condutividade elétrica da água e variáveis meteorológicas a partir de uma estação.

São instrumentos de medição que servem de base para a coleta dos dados hidrometeorológicos, visando o estudo das variáveis que interfere sobre a cobertura do telhado verde, o escoamento superficial gerado pela edificação e os volumes afluentes e efluentes obtidos pela trincheira de infiltração. Estes parâmetros têm como finalidade auxiliar na estimativa de eficiência dos dados para a retenção hídrica, discutida adiante.

Inicialmente, os equipamentos utilizados para o monitoramento do lote e das medidas instaladas foram: estação meteorológica para coleta de dados do tempo e linígrafos automáticos e de bóia para medições de quantidade e qualidade da água reservada. A seguir, é descrito resumidamente o funcionamento de cada um desses equipamentos instalados no lote urbano (Figura 4.16).



Figura 4.16 - Equipamentos de medição utilizados para o monitoramento do lote urbano: estação meteorológica e linígrafos automáticos e de bóia.

Com o propósito de garantir e de permitir uma aproximação das informações hidrológicas, embora com incertezas, optou-se preliminarmente por utilizar como fonte de dados pluviométricos a estação localizada nas proximidades da Fadisc, como parte do *Experimento piloto de gerenciamento integrado de bacias urbanas para o Plano Diretor do Município de São Carlos-SP* (EESC, 2002). O uso desta estação justifica-se principalmente pela indisponibilidade de instalação de um equipamento na própria área de estudo — lote.

A estação da Fadisc, utilizada como suporte inicial para o desenvolvimento das atividades de monitoramento meteorológico, situa-se numa das partes mais elevadas do perímetro urbano do município de São Carlos/SP. O equipamento encontra-se instalado nas proximidades do Córrego do Sorregoti ou Invernada, que compreende um dos afluentes da microbacia do Córrego do Gregório. Localiza-se quase no divisor de águas das

microbacias do Gregório e do Córrego Santa Maria Madalena, que pertence a um dos principais córregos do município, que é o do Monjolinho. Linearmente, a estação dista aproximadamente 7 km da localização do lote, conforme Figura 4.17. Esta estação também foi inicialmente escolhida por ser uma das mais próximas da área de estudo e com maior quantidade de dados disponíveis.

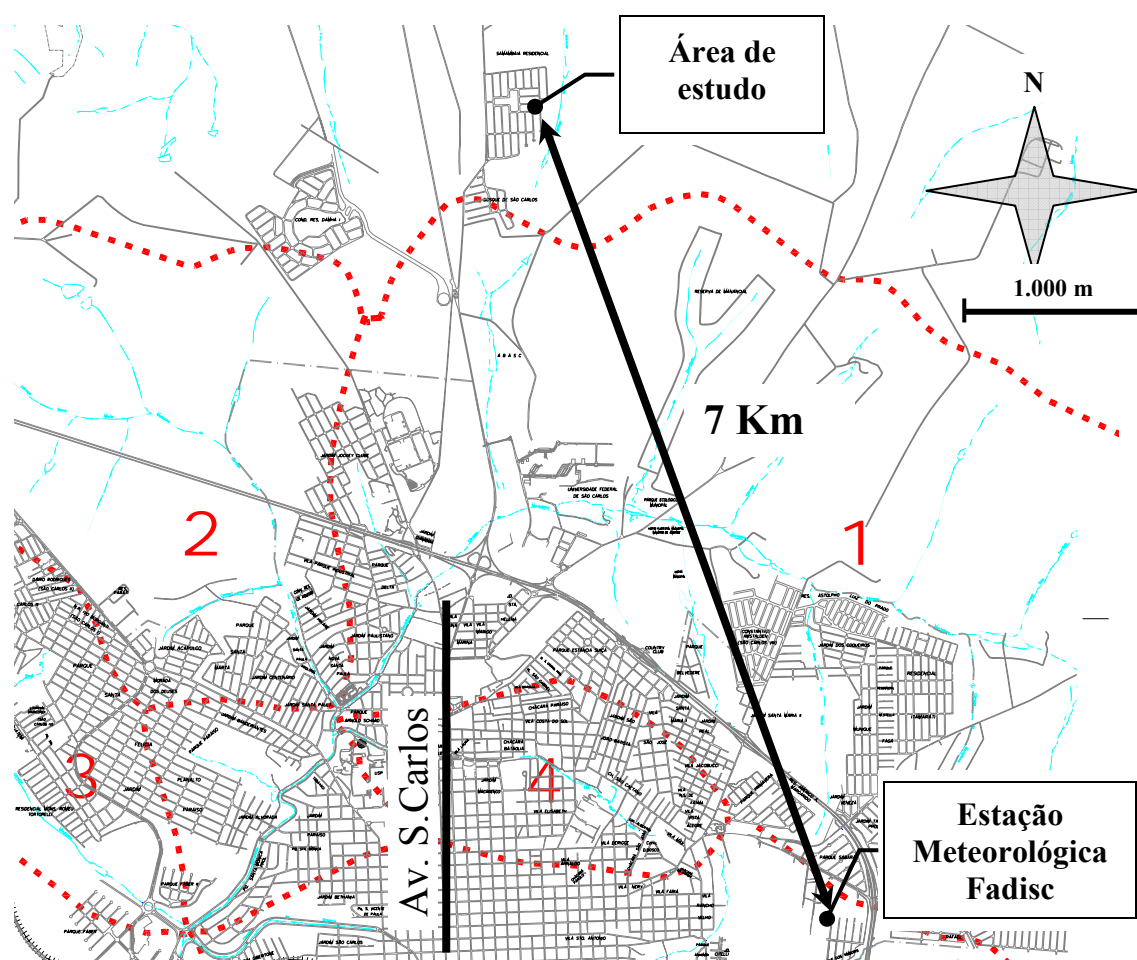


Figura 4.17 – Localização da área de estudo e da estação meteorológica adotada preliminarmente.

No entanto, a partir de um registro observado em 21 de dezembro de 2005, um morador próximo à área de estudo, que possui um pluviômetro de leitura instantânea instalado a uma distância de 400 metros da área de estudo, reforçou a necessidade da instalação de uma estação no próprio local: “o pluviômetro instalado nas dependências (...),

distante cerca de 400 metros do lote, registrou no dia 21 de dezembro de 2005 um índice pluviométrico com variações maiores que 50 mm”¹⁰. No mesmo dia, a estação da Fadisc registrou um índice de chuvas de aproximadamente 2 mm, confirmando a variabilidade da distribuição temporal e espacial das chuvas na região.

Por este motivo e pela necessidade de redução das incertezas dos dados observados, instalou-se uma “nova” estação meteorológica nas dependências externas do próprio lote. A liberação e posterior instalação do equipamento foram calibradas após algumas negociações e providências, inclusive com o usuário, para sua correta operação.

4.7.1. Calibração do pluviômetro da estação local

Por se tratar do principal medidor de dados a ser analisado hidrológicamente junto aos registros de nível observado pelos linígrafos, realizou-se a calibragem do pluviômetro da Estação Davis Vantage Pro, estação de monitoramento utilizada para a coleta e análise dos dados meteorológicos.

O material utilizado para a aferição do equipamento consta a seguir: agulha de injeção veterinária; garrafa plástica de água mineral; dosador graduado em mililitros, como seringa; e chave de boca de 5 mm. Para a geração da “chuva artificial”, preparou-se o gotejador da seguinte forma:

- a) espetou-se a agulha na tampa da garrafa de modo que o orifício ficasse rente à parte interna da tampa, para esgotar toda a água;
- b) executou-se o corte do fundo da garrafa, transformando-a em um funil;
- c) verificou-se a fluidez do líquido e se a água da garrafa estava se esgotando.

¹⁰ Informação fornecida por Caballero, em São Carlos/SP, janeiro de 2006.

Após retirado o DataLogger do console, desligou-se o equipamento através da tecla (*Done*). Foi retirada toda a energia: fonte e bateria. Em seguida, o DataLogger foi desconectado para recolocar a energia e ligar o console (*Done*). Este procedimento foi executado para que os dados anteriores não fossem armazenados durante a calibragem. Posteriormente, optou-se por Chuva Diária (*Rain Day*), sendo, em seguida, zerado o contador (*2 End + Clear*). Foi posicionado o funil no coletor e, em seguida, adicionado 100 mL de água no dosador. Despejou-se a água do dosador no funil até que ele fosse totalmente esvaziado. Após alguns minutos, os dados começaram a ser registrados no console. A leitura apontou 4,9 mm para a quantidade de 100 mL de chuva gerada.

Sabe-se que 1 mm de chuva equivale a 1 litro de água em 1 m², ou seja, 1.000 mL em 10.000 cm². O coletor da Estação Vantage Pro mede aproximadamente 16,5 cm de diâmetro ou 8,25 cm de raio, o que resulta em uma área estimada de:

$$A = 3,14 \times (8,25)^2 = 213,71 \text{ cm}^2$$

Se 10.000,00 cm² é igual a 1,00000 mm de chuva, 213,71 cm² é igual a 0,021371 mm de chuva. Então 1,000000 mm de chuva é igual a 1.000 mL de água em 10.000 cm², e 0,021371 mm de chuva é igual a 21,37 mL de água em 213,71 cm².

Assim sendo, ao despejar:

- 100 mL de água no coletor, obtém-se $\left(\frac{100}{21,37}\right) = 4,68$ mm no console;
- 200 mL de água no coletor, obtém-se $\left(\frac{200}{21,37}\right) = 9,35$ mm no console;

- 400 mL de água no coletor, obtém-se $\left(\frac{400}{21,37}\right) = 18,72mm$ no console.

A leitura no momento da calibração está 0,22 mm acima da medida aferida matematicamente. A regulagem mecânica para os ajustes de medição, conforme orientação técnica especializada, é a seguinte:

1 – Retirada do coletor de chuva.

2 – Com uma chave de boca de 5 mm, girar os parafusos de apoio da cubeta: para aumentar os dados coletados no console, soltar os parafusos de apoio; para diminuir os dados coletados no console, apertar os parafusos de apoio. Como sugestão dos técnicos, os dois parafusos foram mantidos aproximadamente na mesma altura.

4.7.2. Localização e caracterização da estação meteorológica

A data de instalação da estação no lote foi no dia 12 de maio de 2006. Sua localização dentro da Bacia do Córrego do Jararaca encontra-se na latitude $21^{\circ}57'30''$ sSul e longitude $47^{\circ}53'00''$ oeste, obtidos conforme mapa cartográfico do município de São Carlos/SP. A Figura 4.18 ilustra o posicionamento da estação no lote e as medidas de controle e reservação d'água instaladas. O melhor local para o posicionamento da estação, embora com algumas interferências em função da altura do muro lateral ao vizinho, foi sobre a extremidade sul do telhado verde e na parede lateral interna da edificação da microssala. Como ainda não foi executada a edificação da fase II, a localização da estação ficou favorecida na sua direção norte devido à recarga da bateria pela energia solar.

A inclusão de uma estação incorporada ao lote é essencial e ideal para a redução das incertezas dos dados monitorados, bem como para tornar mais eficiente o conjunto de informações de descarga d'água pluvial e de escoamento no lote.

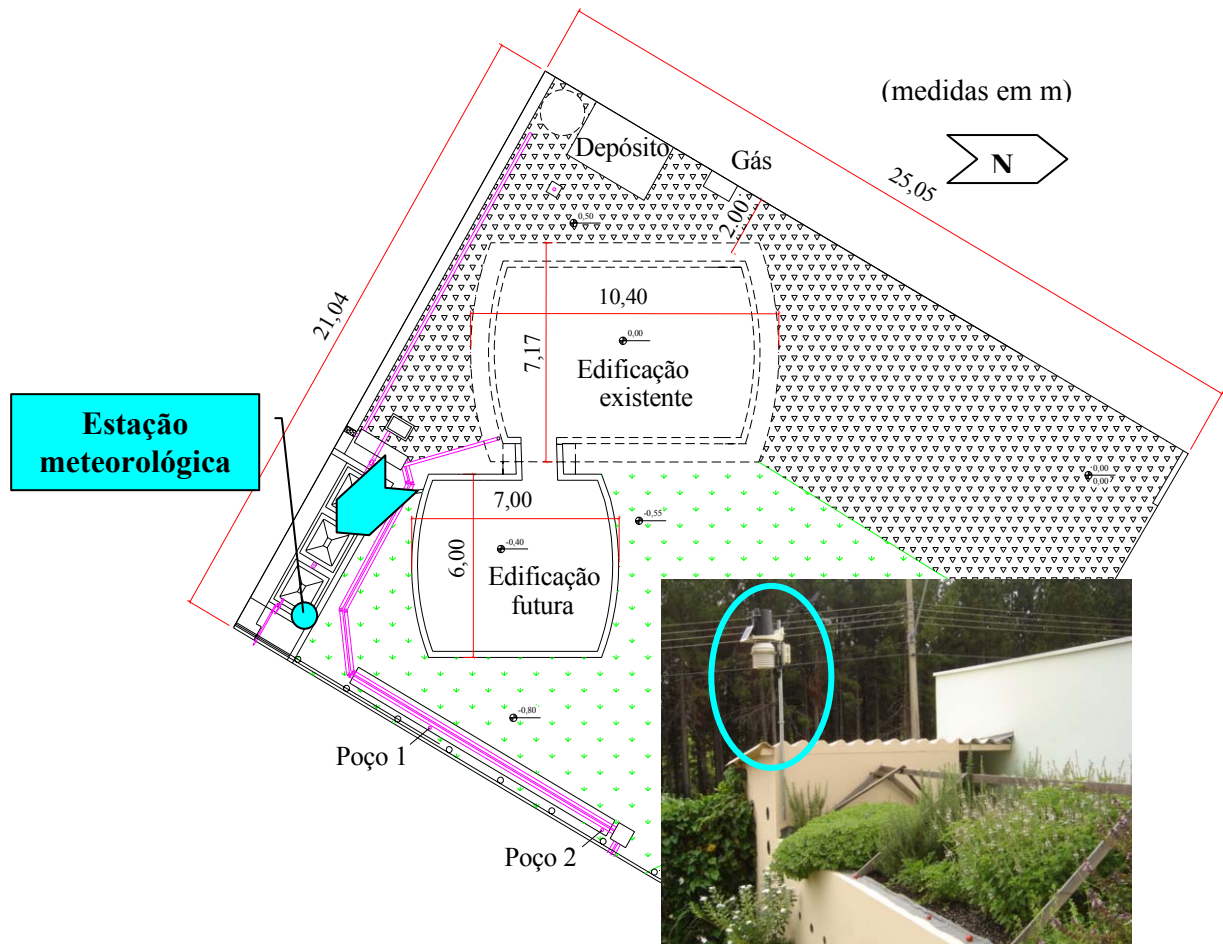


Figura 4.18 - Localização da área experimental do lote e vista da estação de monitoramento.

As informações de dados pluviométricos, bem como de outros dados pertinentes para o cálculo do balanço hídrico do lote e de toda a bacia estão disponíveis no site: <http://www.eesc.usp.br/microsala>. A hospedagem do site deve-se ao Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC da USP. Embora o sistema permita a coleta dos dados via internet, o site encontra-se em fase de criação juntamente ao modelo associado denominado de *modelo de previsão para o sistema de alerta antecipado de chuvas*, conforme Andrade (2006).

O modelo desta estação prevê as seguintes variáveis de tempo com resolução e devidos alcances apresentados na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Especificações dos dados meteorológicos de coleta on-line

Variáveis	Resolução	Alcance	Precisão nominal
Temperatura interna	-17,72 °C; 0,1 °C	32 a 140 °F; 0 a 60 °C	1 °F; 0,5 °C
Temperatura externa	-17,72 °C; 0,1 °C	32 a 140 °F; 0 a 60 °C	1 °F; 0,5 °C
Ponto de orvalho	1 °C; 1 °F	-105 a 130 °F; -76 a 54 °C	-16,11 °C; 1,5 °C
Sensação térmica	1 °C; 1 °F	-120 a 130 °F; -84 a 54 °C	-16,67 °C; 1 °C
Umidade interna	1%	10% a 90%	5% RH
Umidade externa	1%	0% a 100%	3% RH; 4% acima de 90%
Velocidade do vento	1 mph; 1 kt; 1 km/h; 0,5 m/s	2 a 150 mph; 2 a 130 kt; 3 a 241 km/h; 1 a 68 m/s	Maior de 2 mph/kt; 1 m/s; 3 km/h; ou 5%
Direção do vento	1°	0° a 360°	7°
Pressão barométrica	0,01" Hg; 0,1 mmHg; 0,1 hPa; 0,1 mb	26" a 32" Hg; 660 a 810 mmHg; 880 a 1.080 hPa; 880 a 1.080 mb	0,3" Hg; 0,8 mmHg; 1 hPa; 1 mb
Radiação solar	1 W/m ²	0 a 1.800 W/m ²	5% da escala total
Índice de UV	0,1	0 a 16	5% da escala total
Índice de chuva	0,01"; 0,25 mm	Para 100"/h, 1.999,9 mm/h	Maior de 5% ou 0,04"/h; 1 mm/h
Evapotranspiração	0,01"; 0,25 mm	Diária: para 99,99", 999,9 mm; mensal e anual: para 199,99", 1.999,9 mm	Maior de 5% ou 0,01"; 0,25 mm

A transferência das informações obtidas via download e upload foi realizada com base na configuração do software Weatherlink, que envia os dados da estação da Davis Vantage Pro para um servidor website automaticamente. Para a realização deste serviço de dados disponíveis on-line é imprescindível dispor de um computador conectado a internet

próximo à estação, para que os dados sejam transferidos (download) para esse computador e, posteriormente, enviados (upload) para o servidor. As opções de dados coletados estão disponíveis inclusive para realizar download dos últimos dois dias e últimos oito dias anteriores, sendo que a atualização das informações está previamente definida para ocorrer a cada 30 minutos.

Inicialmente, o intervalo de tempo dos dados foi escolhido para ser de cinco em cinco minutos. Mas, como o estudo foi aplicado para uma área exclusiva de lote urbano, onde a velocidade do escoamento varia muito rapidamente, optou-se por discretizar este intervalo de tempo a cada minuto.

A estação com funcionamento a cabo transmite os dados dos sensores externos a partir de um ISS que enviam os sinais para o console, e deste, para o computador.

A seguir, são apresentadas como exemplo algumas imagens detalhadas, visualizadas na Figura 4.19, dos dados que são recebidos via upload da estação localizada no lote urbano.

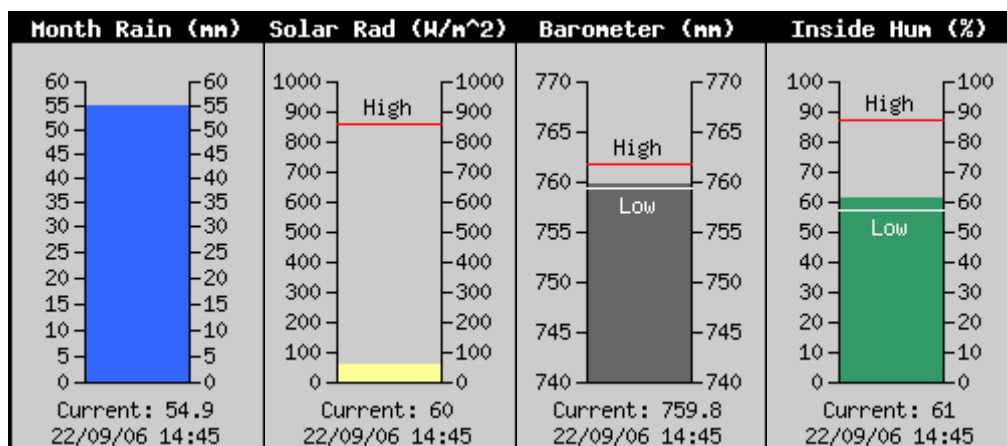


Figura 4.19 - Exemplos de dados meteorológicos do lote disponíveis on-line a partir do site:

<http://www.eesc.usp.br/microsala>.

Este site informa o valor preciso de um determinado dado do tempo, no dia e hora especificado. Além destas colunas, também são visualizadas algumas imagens em forma

de gráficos constando períodos de até 24 horas antecedentes. Estão disponíveis outras opções de dados de forma interativa, que podem ser capturadas diretamente do computador que fica conectado junto ao console da estação. Estas informações permitem ao usuário obter dados específicos que variam conforme a sua necessidade, podendo variar entre valores de precipitação e velocidade do vento ou ambos os dados.

A seguir, consta a metodologia adotada para o monitoramento de todas as medidas de controle e reservação instaladas no lote para a redução dos impactos hidrológicos.

4.7.3. Equipamentos de análise quali-quantitativa

De todas as medidas embutidas no lote, a trincheira de infiltração foi a única inicialmente que forneceu dados de qualidade devido ao modelo de equipamento instalado. Por se tratar de um dispositivo que coleta diretamente as águas provenientes do telhado, do solo superficial e subsuperficial simultaneamente, foi escolhido o linígrafo CTD-DIVER[®] como equipamento de análise dos dados observados. Posteriormente, a manipulação e/ou transferência do equipamento possibilitou a coleta de dados qualitativos para o escoamento pluvial.

4.7.3.1. Sensor de nível variável para escoamento superficial

Para o monitoramento de nível em tempo contínuo com possibilidade de captura de dados históricos, é recomendado o uso de equipamentos que possuem um *data-logger* acoplado no equipamento para o armazenamento das informações.

O CTD-Diver[®] consiste de um equipamento portátil, de fácil manipulação, sendo representativo na solução de monitoramento de variáveis, como: nível d'água, temperatura,

condutividade elétrica, oxigênio dissolvido da água e, em alguns modelos, quantidade e intensidade de chuvas, embora estes últimos aspectos possam ser calculados a partir dos dados anteriores. Sua utilização envolve desde monitoramento de tanques, como poços, piezômetros, lagos, reservatórios, bacias de contenção etc.

Embora o mercado ofereça diferentes modelos de linígrafos, os medidores automáticos de nível d'água e temperatura com opcionais são os preferidos pelos hidrólogos e pesquisadores. Basicamente, eles funcionam a partir de um sensor tipo transdutor de pressão, sensor de temperatura, bateria de longa duração e coletor de dados. Estes elementos ficam agregados em um invólucro único de aço inoxidável com diâmetro aproximado de 1", dependendo do modelo, sendo selado pelo fabricante.

Normalmente, os modelos hoje disponíveis efetuam medições a partir da pressão absoluta (pressão atmosférica e pressão hidráulica) em alturas. Os recursos internos geram valores que consideram pressão constante ao nível do mar. Para compensação barométrica, em casos de longos períodos isentos de flutuações atmosféricas, como, por exemplo, para a determinação de nível de águas subterrâneas, recomenda-se o uso de um *baro-logger*, como instrumento suplementar, visando compensar as diferenças encontradas.

Tendo como principal vantagem a utilização sem a necessidade imediata de cabos interligados durante a coleta, o Diver[®] funciona nas cotas de fundo simplesmente preso por um fio de aço inoxidável para a suspensão e retirada do instrumento. Além disso, esta tecnologia evita a exposição de cabos elétricos, isolada de interferências e vandalismos.

A transmissão dos dados ocorre por infravermelho através de uma unidade de leitura que é conectada a um computador ou palm-top (Figura 4.20). O Data-logger do CTD-Diver[®] possui memória de armazenamento para até 16.000 leituras de nível d'água, temperatura e condutividade elétrica.

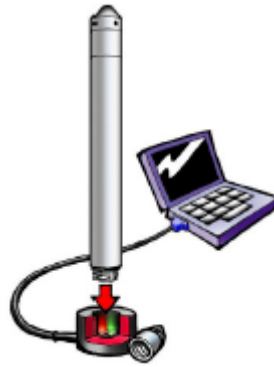


Figura 4.20 - Representação para transmissão de dados do Diver[®] via cabo conector ao notebook.

Dependendo da programação do tempo de discretização, sua memória pode suportar períodos de até dois anos ($\Delta t = 60$ minutos) continuamente, sem a necessidade periódica de transmissão dos dados. Particularmente, devido às condições já expostas em capítulos anteriores, o intervalo de tempo adotado para as leituras de quantidade e qualidade da água foi de 1 minuto, proporcionando um tempo máximo de armazenamento na memória do *datalogger* de aproximadamente 11 dias. Para a coleta das informações, o software usado foi o LoggerDateManager, da Van Essen Instruments Inc, que torna disponível uma interface de utilização gráfica instantânea e de importação de dados flexível aos programas usualmente manipulados. Maiores informações podem ser encontradas no site: <http://www.vanessen.com>.

4.7.3.2. Sensor de nível variável para escoamento sub-superficial da trincheira

Da mesma forma que o CTD-Diver[®], o Global Water WL-15[®] também torna disponíveis dados contínuos com possibilidade de armazenamento dos registros históricos, tendo como principal função medir exclusivamente nível e temperatura. Por outro lado, o *data-logger* do WL-15[®] deve ficar protegido e não pode ser mergulhado na água, o que é

permitido no Diver[®]. O seu funcionamento interno também é por transdutor de pressão e sensor de temperatura. Foi projeto para monitoramento remoto com capacidade de memória para até 24.000 leituras.

A discretização temporal do equipamento WL-15[®] permite definição variável de um segundo até intervalos maiores que um mês. Para o lote urbano, adotou-se o intervalo de 1 minuto. Embora não utilizado em sua extensão total no lote urbano, o WL-15[®] permite a instalação em locais profundos com capacidade para assumir distâncias de até 10 metros.

Atualmente, já existe no mercado um modelo atualizado WL-16[®], que possui interface para conexão, visando a transmissão dos dados, via cabo USB com memória expandida para até 81.000 linhas de dados. Maiores informações podem ser encontradas no site: <http://www.globalw.com/products/wl16.html>.

4.7.3.3. Sensor de nível variável para escoamento do telhado verde

As operações e funções deste linígrafo se assemelham às do linígrafo da Global Water WL-15[®]. A principal diferença está na capacidade de memória do *data-logger*, que é de aproximadamente 10.000 linhas. Para um intervalo de tempo dos dados definido em um minuto, proporciona-se um período máximo de armazenamento sem perda dos dados, estimado em uma semana.

A opção de intervalo de coleta varia entre 1 e 3.600 segundos, podendo ser ajustada conforme a necessidade do pesquisador. Este linígrafo, em especial, sofreu algumas adaptações devido a inicialmente ter sido projetado para monitoramento de grandes rios ou canais, o que não é o caso deste projeto. Para uma maior aproximação dos resultados observados, foi necessário ajustar o linígrafo ou calibrá-lo para atender às

necessidades de medições em pequenos reservatórios. A calibração do equipamento permitiu atingir níveis com variações máximas de até 1 metro, com erro aproximado de 2% ou ± 2 cm.

A Figura 4.21 apresenta a capacidade máxima de armazenamento na memória dos linígrafos, que é calculada em função do intervalo de discretização de coleta.

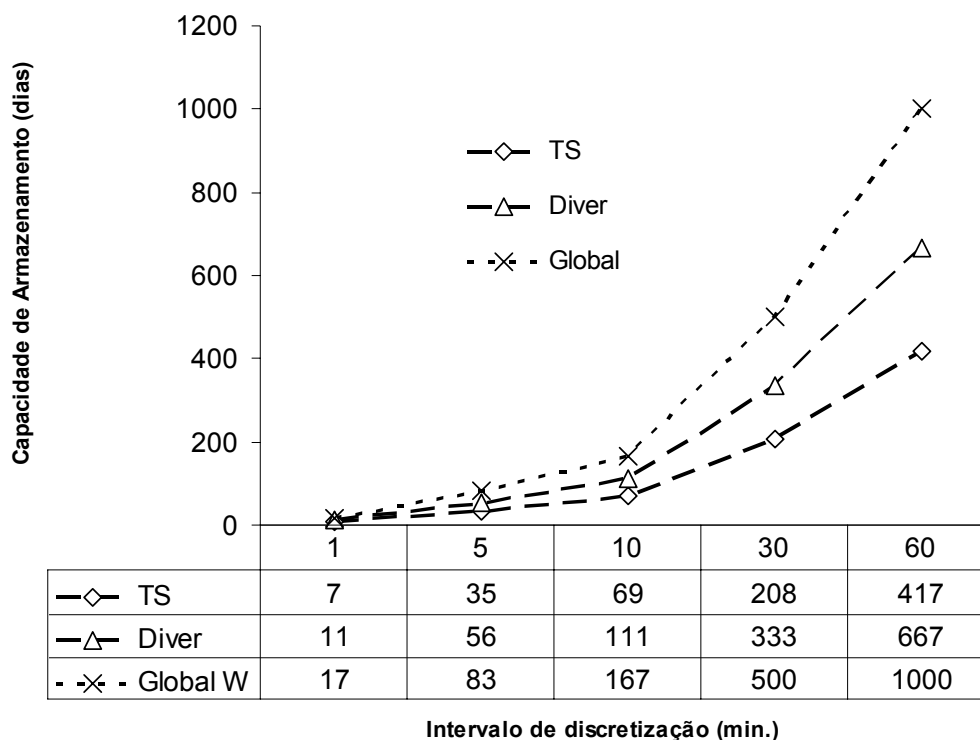


Figura 4.21 - Capacidade máxima de armazenamento de dados dos equipamentos de monitoramento.

Outro ajuste realizado no linígrafo da Global Water WL-15[©] foi a instalação de uma fonte de energia, dispensando o uso de baterias ou pilhas para a coleta e a transferência dos dados. A única desvantagem, para este caso, é a ausência ou queda de energia. A fim de suprir esta deficiência, podem-se deixar as pilhas no local apropriado, mas é recomendado verificar periodicamente o espaço reservado para evitar possíveis oxidações no contato e curto-circuito interno. A opção do modo de coleta deve ser: para fonte, utilizar conjunto 3 e, para pilha, utilizar conjunto 4. Caso esta opção esteja invertida, o erro pode superar 30%. Estas informações devem ser tratadas exclusivamente para este

linígrafo, uma vez que os ajustes foram específicos para o atendimento deste projeto. Outros linígrafos TS possuem suas particularidades preservadas.

4.7.3.4. Registro manual de nível em bóia

Exclusivamente, este equipamento permite apenas a coleta de dados quantitativos de nível. Os valores são registrados fisicamente através de uma folha milimetrada, que é riscada por uma pena calibrada conforme o mecanismo instalado de engrenagem nas roldanas. Seu funcionamento, embora permita registrar dados históricos, é manual. Por um fio de aço inoxidável, são presos uma bóia e um contra-peso que garante as variações de nível em um determinado reservatório. Por garantia, pelo menos duas vezes na semana é necessário manter o equipamento em constante funcionamento, através do relógio manual “com corda”, para que os dados sejam coletados continuamente.

O linígrafo de bóia instalado no reservatório que coleta as águas pluviais do telhado verde, descrito detalhadamente adiante, possui capacidade para armazenar uma semana de dados. Após este período, é necessária a substituição da folha milimetrada, que deve ser ajustada conforme o posicionamento da pena. Ao mesmo tempo, é necessário verificar periodicamente o recipiente que armazena a tinta da pena, que é à base de nanquim. Tecnicamente, trata-se de um equipamento considerado obsoleto, porém, se ajustado e calibrado de acordo com as condições de cada projeto, pode ser de grande utilização, principalmente para escoamentos de variações com precisão moderada a baixa.

4.7.4. Monitoramento das águas pluviais do telhado verde

No dia 2 de dezembro de 2005, foi instalado o CTD-Diver[©] no reservatório de captação de águas que escoam pelo telhado verde, juntamente ao barômetro compensador de pressão. No caso, este último apenas serviu para acompanhar as medições que futuramente realizar-se-iam no Poço 1 profundo da trincheira de infiltração. A Figura 4.22 ilustra o equipamento sendo utilizado para medições de nível, temperatura e condutividade elétrica da água da chuva.



Figura 4.22 - Monitoramento das águas que escoam do telhado verde utilizando o CTD-Diver[©].

Inicialmente, o Diver[©] foi escolhido para monitorar o escoamento do telhado verde apenas para verificar e analisar por um determinado período a qualidade das águas pluviais, visto que posteriormente ele seria utilizado na trincheira de infiltração. Esta opção de monitoramento deve-se ao fato de que os linígrafos precisariam ser remanejados conforme o período hidrológico, a implantação das medidas e os critérios de atendimento de cada equipamento.

Como o Diver[©] foi o único linígrafo disponível capaz de monitorar todas as medidas instaladas, ele foi bastante requisitado, principalmente pela sua facilidade de

operação, manuseio e vantagem de ser independente de cabos conectados diretamente a ele durante as coletas.

A utilização do Diver[®] no reservatório do telhado verde foi até o dia 20 de dezembro de 2005. Seguidamente, para não perder a seqüência de dados foi instalado no mesmo reservatório o linígrafo da Global Water WL-15[®], que iniciou as coletas de nível e temperatura da água. Por sua vez, o Diver[®], logo em seguida, foi remanejado para monitorar as águas do Poço 1 da trincheira de infiltração.

O linígrafo de bóia, visto na Figura 4.23, foi instalado no reservatório do telhado verde no dia 26 de janeiro de 2006. Para ajustes e calibrações do linígrafo de bóia, o linígrafo WL-15[®] permaneceu no reservatório do telhado verde até o dia 16 de março de 2006, sendo remanejado no dia seguinte para coletar os dados do Poço 2 da trincheira de infiltração.



Figura 4.23 - Monitoramento das águas pluviais que escoam do telhado verde utilizando o linígrafo manual de bóia.

A seguir, descreve-se o monitoramento realizado na trincheira de infiltração, com suas respectivas interferências e disponibilidades de uso dos equipamentos.

4.7.5. Monitoramento na trincheira de infiltração

Conforme exposto no Capítulo 4.6.3, “Execução da trincheira de infiltração”, foram deixados dois pontos ou poços de monitoramento, sendo um na seção intermediária e outro na extremidade a jusante da trincheira. Estes pontos incluem aberturas ou escavações circulares no solo com profundidade definida em projeto.

O ponto caracterizado como Poço 1 inclui abertura anteriormente já existente com profundidade estimada em 13 metros. A localização do Poço 2 no ponto a jusante da trincheira justifica-se topograficamente por ele estar incluído numa das áreas mais baixas do lote. Experimentalmente, o Poço 1 foi instalado basicamente para cumprir o objetivo de estudar os efeitos do comportamento hidrológico de uso ocupacional da trincheira em uma residência, a partir da inclusão de possibilidades de recarga do aquífero (Figura 4.24).

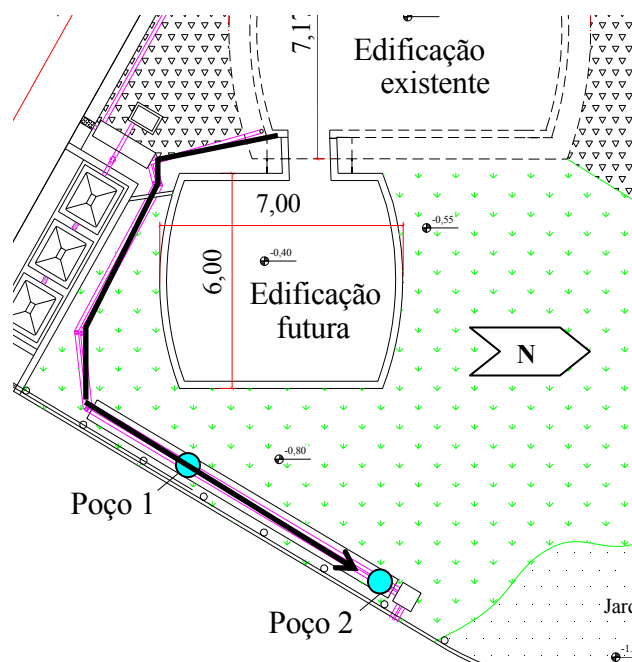


Figura 4.24 – Poços de monitoramento da trincheira.

A existência de dois pontos a monitorar requer a utilização de dois equipamentos ou sensores capazes de captar as informações de armazenamento e poluição inferida no lote urbano. No entanto, como o laboratório do Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas (<http://www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica/>) dispunha inicialmente de dois linígrafos (Diver[©] e WL-15[©]) optou-se pelo monitoramento do Poço 1 da trincheira utilizando o Diver[©], uma vez que o WL-15[©] já havia sido instalado no reservatório do telhado verde.

O Poço 1, conforme exposto anteriormente, possui uma profundidade estimada de 13 metros. Em seu interior, foi embutida uma tubulação em PVC rígido com um diâmetro aproximado de 4". A utilização do Diver[©] se justifica devido às exigências de possíveis flutuações de pressão no interior do poço, bem como longas distâncias e maior nível de precisão.

Para o Poço 2, com seção de 6", definido como sendo o ponto de monitoramento a jusante principal da trincheira, uma vez que mede o seu armazenamento total, instalou-se o linígrafo Global Water WL-15[©], conforme a Figura 4.25. Para realizar o monitoramento deste poço, instalaram-se duas reduções: uma de 6" para 4" e outra de 4" para 2", sendo que nesta última foi interligado um tubo de 2" com 1 metro de comprimento. Na extremidade inferior deste tubo, foram feitas perfurações atravessadas para eventuais extravasamentos na trincheira.

A coleta dos dados extraídos do *data-logger* interior ao equipamento WL-15[©] foi realizada inicialmente com o auxílio de um notebook e, posteriormente, através do microcomputador instalado na sala de controle.



Figura 4.25 - Poço 2 de monitoramento da trincheira com instalação do linígrafo.

4.7.6. Monitoramento quali-quantitativo do escoamento superficial do lote

Um dos principais pontos de escoamento do lote refere-se à “caixa de passagem” do escoamento superficial do lote. Sua função, além de conduzir a passagem como elemento drenante das águas pluviais, é monitorar e registrar as informações de quantidade e qualidade do escoamento gerado superficialmente.

Embora suas dimensões sejam consideradas inferiores à real necessidade de escoamento potencial gerado pelo lote, um sistema adaptativo foi elaborado e montado no interior da caixa para que as medições fossem realizadas “eficientemente”.

Localizado topograficamente na parte mais baixa do lote, o sistema é composto por um “minivertedouro” ou comporta que armazena temporariamente o escoamento advindo, tanto da área de captação do telhado principal como das áreas impermeáveis do lote. A coleta se origina nas tubulações longitudinais à trincheira de infiltração, que é composta por dois tubos de PVC de 4”. As águas que não são operacionalmente absorvidas

pela trincheira caminham em direção a essa “caixa de passagem”, sendo distribuídas em seguida para a microdrenagem.

Para este sistema de armazenamento temporário, o monitoramento foi realizado utilizando o linígrafo Diver[®]. Fixou-se na posição vertical um pequeno tubo de PVC de 2”, com aproximadamente 30 cm de comprimento, em uma das paredes laterais da caixa para a devida proteção e segurança do equipamento contra eventuais turbulências e impactos. Visando realizar as respectivas medições de nível, temperatura e condutividade elétrica do escoamento superficial gerado, foram feitas pequenas perfurações na extremidade inferior desse tubo, que fica em contato com a base da caixa, a fim de garantir a comunicação entre o escoamento e o sensor do aparelho. A Figura 4.26 ilustra as dimensões da caixa de passagem do escoamento gerado pelo lote.

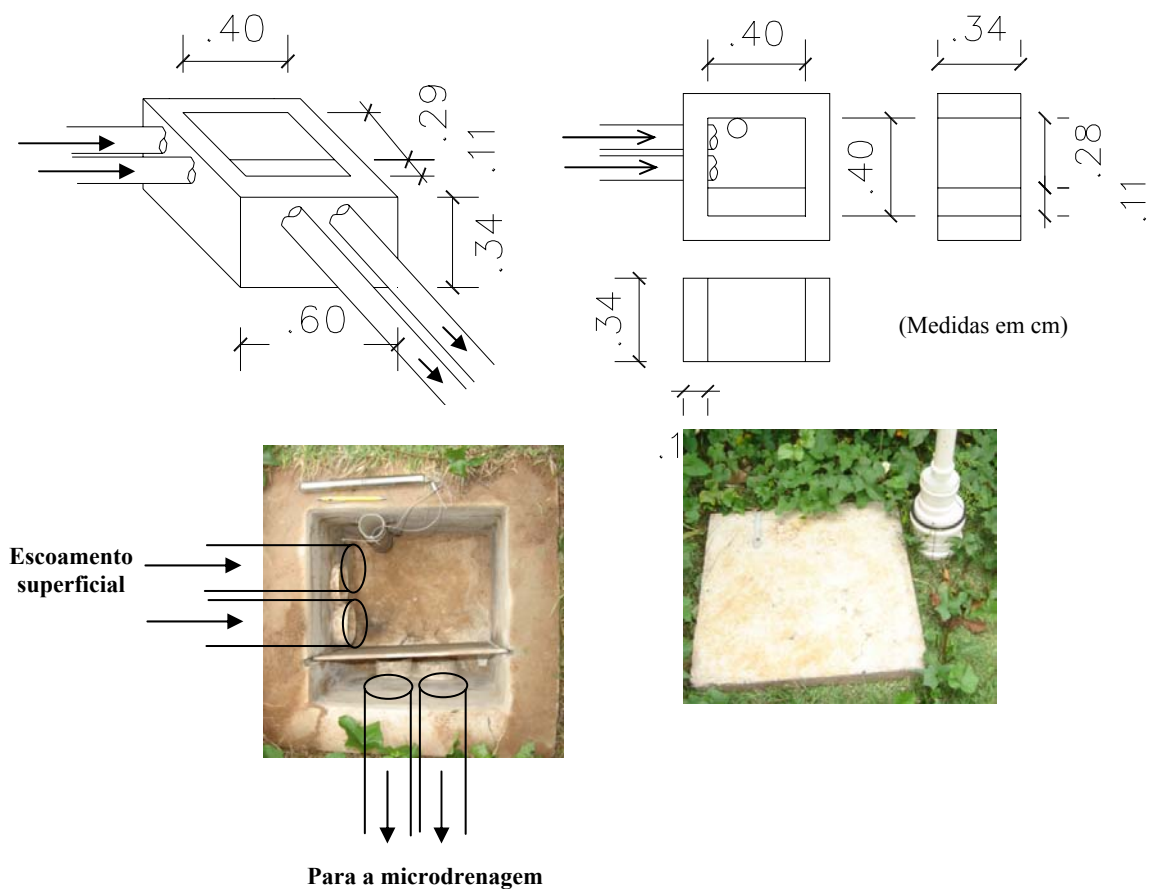


Figura 4.26 – Caixa de passagem e monitoramento de quantidade e de qualidade de águas pluviais do lote experimental.

O sistema de monitoramento e armazenamento executado para este dispositivo decorreu durante a fase de leitura de alguns resultados anteriormente obtidos. Como não houve inicialmente um projeto executivo dessas instalações, como dimensionamento prévio, foram necessárias adaptações a fim de garantir o monitoramento e o funcionamento adequados para o sistema.

Para sua operação desassistida, foi executado, conforme descrito anteriormente, um minivertedouro livre ou comporta com a função de permitir manutenções e extravasamento “automático” através de pequenas frestas entre a seção da caixa e a comporta. Portanto, ressalta-se, para a ocorrência de incertezas na leitura dos níveis, que serão discutidos posteriormente no capítulo de resultados.

4.7.7. Sincronização dos equipamentos junto às estações de coleta

Por conta da velocidade de escoamento superficial no lote ser alta e da escala espacial ser pequena, reduzindo o tempo de concentração da área em estudo, foi realizada a sincronização de tempo de todos os equipamentos instalados, inclusive da estação meteorológica. Assim, os ajustes para coleta das informações em tempo real estão em perfeita sincronia, ou seja, todos eles foram exatamente calibrados para o mesmo instante de hora, minuto e segundo. A fim de validar este ajuste, foram realizados eventos induzidos, tanto para o escoamento quanto para a coleta de dados na estação, exatamente no mesmo instante de tempo. O teste de validação e sincronização das instalações aconteceu no dia 11 de julho de 2006 e está representado na Figura 4.27.

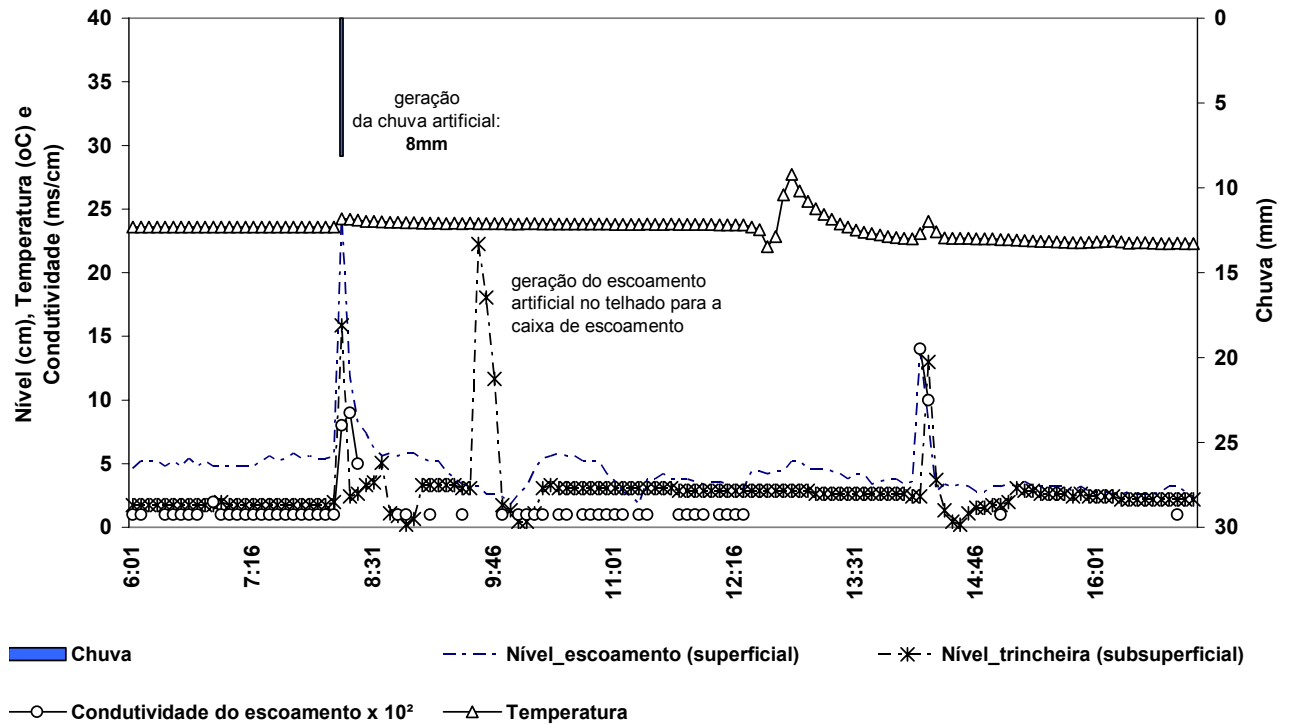


Figura 4.27 - Teste de calibração e sincronização temporal dos equipamentos.

Entende-se por *nível_escoamento (superficial)* o monitoramento instalado na caixa de passagem, e por *nível_trincheira (subsuperficial)*, o equipamento que monitora o nível no poço 2 da trincheira. Aproximadamente às 8h11, o escoamento superficial foi gerado em sincronia com o despejo manual do evento induzido ou da “chuva artificial” gerada no pluviômetro da estação. A intensidade de precipitação estimada foi de 8,1 mm, o que corresponde ao *nível_escoamento superficial*, um valor de 24,6 cm, e do *nível_trincheira subsuperficial*, um valor de 15,9 cm. Os dados apresentados de condutividade igual a 0,14 ms/cm e temperatura igual a 23 °C refletem a qualidade da água do escoamento gerado artificialmente. Por volta das 14h11, o *nível_escoamento superficial* registrou as variações de quantidade e qualidade do escoamento superficial, alcançando a marca de 13,8 cm. Portanto, pode-se considerar que no mesmo instante de tempo, todos os equipamentos registraram dados de quantidade e qualidade de água simultaneamente.

Neste experimento, não foram desconsideradas as variações de níveis ocasionadas por diferenças de pressão ambiente.

4.8. Dimensionamento do reservatório de águas pluviais

Para que as regulações normativas de cálculo sejam utilizadas corretamente dentro dos critérios e parâmetros da engenharia civil e/ou da hidrologia sanitária, é imprescindível o conhecimento de algumas informações e dados para admitir uma metodologia de dimensionamento confiável para reservatórios de água de chuva. E, para tal desempenho, é necessário estimar o consumo a ser demandado em função dos usos admissíveis.

4.8.1. Previsão de consumo de água não potável para a residência em estudo

O cálculo de demanda do uso da água deve ser considerado especificamente para cada residência, embora existam estimativas que se aproximem da realidade de cada situação. O lote domiciliar em estudo prevê gastos diferenciados em relação às previsões estimadas, uma vez que possui vasta área de irrigação com quase 230 m² de jardim, conforme a Tabela 4.4.

A população da residência estudada é de quatro pessoas, sendo composta por dois adultos e duas crianças. Este número foi necessário para estimar a demanda individual de volume de água gasto em um determinado período.

Foram considerados os seguintes usos da água para o lote que possuem potencial de aproveitamento para águas pluviais:

- a) descarga sanitária;
- b) lavagem de automóveis;
- c) limpeza de pisos; e
- d) irrigação de jardins.

O cálculo mensal considerado foi determinado em função do número de dias do mês, adotado como 30,5 dias. A previsão é máxima, ou seja, foi considerada no dia de maior consumo. Após ensaio realizado no próprio lote, obteve-se uma vazão máxima da torneira externa de lavagem e irrigação de aproximadamente 0,2 litros/s. O tempo estimado para calcular o volume de água consumido foi de 2 minutos para a lavagem de dois veículos e de 1 hora para a irrigação do jardim. Foi considerado 1 minuto a cada limpeza por automóvel, uma vez que, após entrevista com o morador, são utilizados outros métodos de lavagem de veículos, como esponjas, buchas e panos.

Para o setor da irrigação foi considerado em média o número de dez irrigações por mês. Considerando a vazão da torneira e o tempo admitido de consumo para a irrigação do jardim, estima-se um total médio consumido para a irrigação de $0,39 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$. Este valor encontra-se abaixo do valor estipulado por Vickers (2001), que o estima em $0,57 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$, utilizando uma mangueira de $\frac{1}{2}$ ". No entanto, o valor estimado supera a média adotada para a irrigação de jardins na Alemanha, que é de $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{ano}$, conforme Tomaz (2003). Portanto, o valor encontrado para o lote está na média dos valores da Alemanha e o proposto por Vickers (2001). Observa-se que os tempos de uso da mangueira para a irrigação do jardim e para a limpeza do piso também foram obtidos após entrevista com o morador.

A estimativa de gastos de água potencialmente utilizada é apresentada detalhadamente na Tabela 4.13 a seguir. São valores específicos calculados para esta residência em particular.

Tabela 4.13 – Consumo de água não potável para a residência em estudo

Uso/Serviço	Descarga sanitária	Lavagem de carro	Irrigação do jardim	Limpeza do piso
Volume (litros/unid.)	6	36	720	7,5
Quantidade/dia (unid.)	28	0,07	0,33	0,13
Quantidade/mês (unid.)	854	2	10	4
Volume/mês (litros)	5124	72	7.203	30
Volume/mês (m ³)	5,12	0,07	7,2	0,03
Volume total SEM descarga (m³)	7,3			
Volume total COM descarga (m³)	12,4			

Para efeito de cálculo de dimensionamento da cisterna, utilizou-se o valor total demandado, que foi a constante adotada nas diferenças acumuladas com o volume de chuva precipitado mensalmente. Para este estudo, foram traçados alguns cenários diferenciados, utilizando ou não o aproveitamento da água de chuva do vaso sanitário.

Utilizando-se de séries históricas, conforme apresentado anteriormente no Capítulo 3.3.4.5, foi possível dimensionar, pelo método de Rippl, a cisterna ou o reservatório de águas pluviais do lote domiciliar.

4.8.2. Método analítico de Rippl para o dimensionamento do reservatório de águas pluviais

Para o cálculo de dimensões do reservatório de aproveitamento de águas pluviais foi considerado o método analítico de Rippl com demanda constante e chuvas mensais. A metodologia de cálculo utilizou uma série histórica de precipitações mensais. Adotou-se uma série de 30 anos, partindo de 1972 até 2002, com dados obtidos pelo pluviômetro localizado junto às dependências do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da USP, na cidade de Itirapina/SP, distante aproximadamente 30 km do lote localizado no município de São Carlos/SP.

Foram propostos quatro cenários distintos para o cálculo do reservatório:

- a) demanda incluindo volume de descarga sanitária com área de cobertura atual;
- b) demanda excluindo volume de descarga sanitária com área de cobertura atual;
- c) demanda incluindo volume de descarga sanitária com área de cobertura atual somada à área futura de ampliação; e
- d) demanda excluindo volume de descarga sanitária com área de cobertura atual somada à futura ampliação.

Conforme previsão estimada anteriormente, a demanda máxima de água considerada constante para o cálculo do dimensionamento da cisterna foi de 12,43 m³, incluindo o volume de descarga sanitária, e de 7,30 m³, excluindo o volume da descarga sanitária. Ou seja, o primeiro valor demandado (12,43) inclui os usos anteriormente citados: vaso sanitário, irrigação de jardim, lavagem de automóveis e limpeza de pisos. O segundo valor (7,30) considera apenas irrigação de jardim, lavagem de automóveis e limpeza de pisos, excluindo o uso para a descarga sanitária.

A área de captação inclui atualmente a residência construída e a área de estudo com 82,8 m². Também foi estimado o cálculo do dimensionamento da cisterna com cobertura de 142,9 m², que é a área prevista de ampliação da residência.

O Anexo 1 apresenta tabelas com cálculo do volume final da cisterna para os diferentes cenários representativos propostos. A maior diferença acumulada entre a demanda e o volume de chuva precipitado foi o valor encontrado para o volume do reservatório, ou seja, a sua capacidade máxima de armazenamento. A metodologia de cálculo adotada, com maiores detalhes, encontra-se em Tomaz (2003).

4.8.3. Balanço de massa pelo método gráfico de Rippl

A partir das tabelas apresentadas também foi possível prever o dimensionamento por demanda constante e chuvas mensais a partir do método gráfico de Rippl. Similarmente ao método analítico, o método gráfico determina na abscissa os meses durante o ano, e, na ordenada, encontram-se os volumes acumulados de chuva. A Figura 4.28 ilustra o gráfico para a demanda considerando o volume de descarga, e a Figura 4.29 apresenta o gráfico para a demanda sem o volume de descarga. Ambas as figuras indicam os cenários com cobertura existente e com a ampliação.

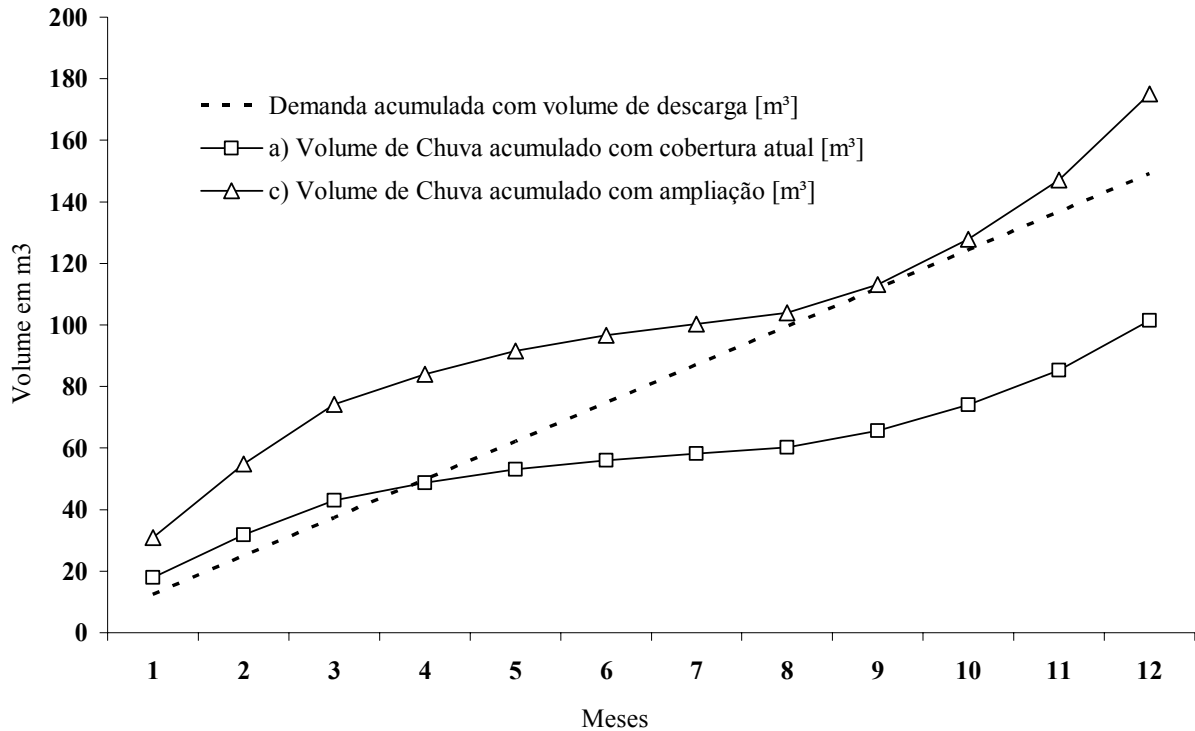


Figura 4.28 - Diagrama de massas do método de Rippl para cenários (a) e (c).

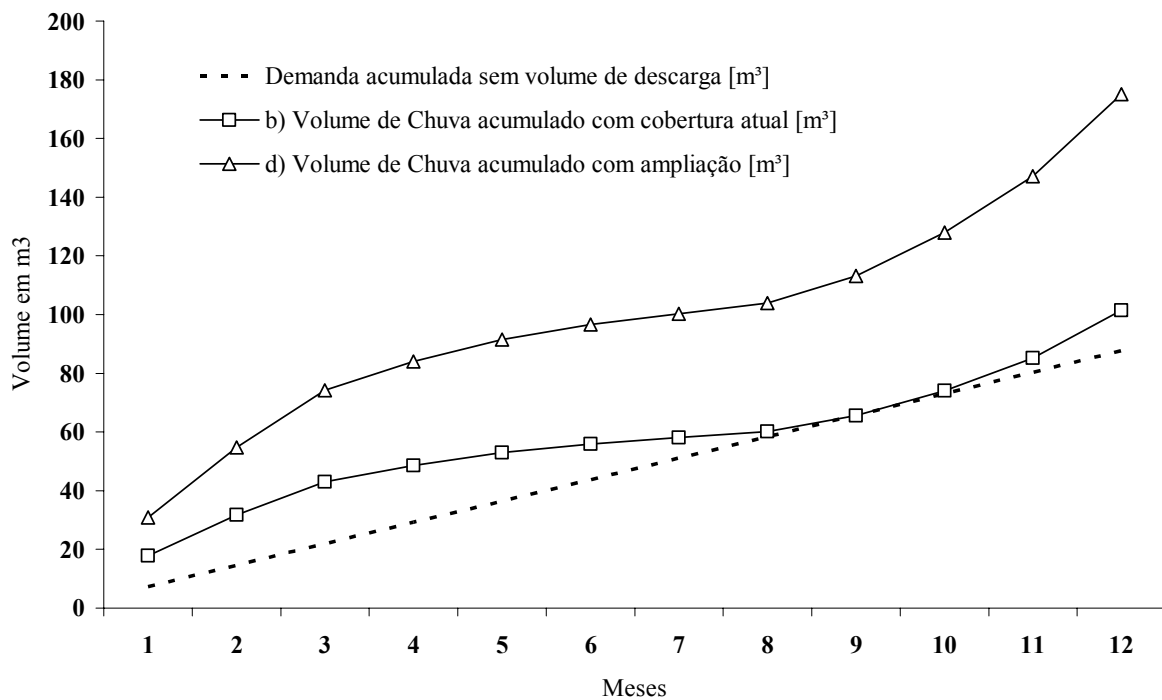


Figura 4.29 - Diagrama de massas do método de Rippl para cenários (b) e (d).

A diferença de ambos os métodos, analítico e gráfico, está na obtenção do volume de armazenamento final e na facilidade de visualização e compreensão da metodologia de

cálculo. Os gráficos indicam as fases críticas de menor volume armazenado e as maiores reservas que podem ser mais bem aproveitadas durante o período sazonal. Observa-se na Figura 4.28 que existe um déficit de volume de chuva em relação à demanda a partir do mês de abril, que é o período em que há deficiência na capacidade de armazenamento da água de chuva. Neste caso, que consiste no cenário (a), o sistema se torna praticamente inviável, pois haverá escassez de água de chuva a ser aproveitada a partir do mês de abril.

Portanto, após uma análise desses dados e verificação de disponibilidade espacial dentro do lote, a opção definida para o dimensionamento final do reservatório foi de 20 m³ ou 20 mil litros. A escolha está dentro da capacidade de armazenamento do cenário (c), que consta de demanda sem o uso para a descarga sanitária e com área de captação da cobertura atual. Este volume pode ser distribuído em cisternas de tamanho variável entre 6 e 20m³, conforme produtos comerciais existentes no mercado.

4.9. Metodologia para coleta e mistura do processo de biodigestão

Conforme descrito no Capítulo 4.6.1., “Montagem do biodigestor séptico”, o processo de decomposição realiza-se anaerobicamente, sendo a matéria orgânica digerível por bactérias que a transformam em biogás e efluente estabilizado. Para o desenvolvimento completo deste processo, inicialmente a primeira caixa deve ser preenchida com 20 litros de uma mistura de 50% de água e 50% de esterco bovino fresco.

Após esta primeira mistura, deve-se produzir periodicamente, a cada 30 dias, 10 litros da mistura na mesma proporção de água e esterco bovino, com o objetivo de aumentar a atividade microbiana e, conseqüentemente, a eficiência da biodigestão. A mistura é colocada na válvula de retenção instalada imediatamente antes da primeira caixa, conforme Figura 4.30.

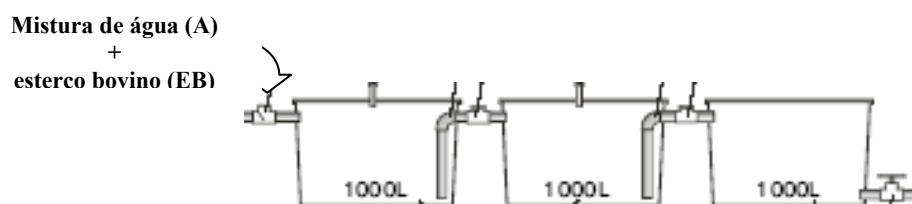


Figura 4.30 - Biodigestor com despejo de mistura A + EB.

Este procedimento deve ser realizado utilizando-se luvas apropriadas de segurança e, de preferência, com blusas e calças compridas para evitar a exposição e o contato direto com o resíduo. No momento da coleta, o uso de tais equipamentos ajudam na prevenção contra eventuais transmissores de doenças, principalmente nas áreas de pastagens.

As misturas foram realizadas logo após o início da instalação do biodigestor no lote domiciliar, embora a utilização do mesmo ainda estivesse em fase de aprimoramento e adequação, conforme procedimento da Embrapa (2004).

Tabela 4.14 - Data de adição da mistura no biodigestor

N. Mistura	Data	Mistura (litros)
1	20/12/2005	60
2	16/1/2006	50
3	20/2/2006	50
4	20/3/2006	60
5	24/4/2006	50
6	18/5/2006	60
7	26/6/2006	50
8	17/7/2006	60
9	24/8/2006	60
10	25/9/2006	60
11	30/10/2006	60
12*	21/11/2006	60
13	18/12/2006	60
14	02/07/2007	60

(*) sobreposição de lonas pretas nos módulos-caixa 1 e 2.

Finalizadas as etapas de projeto, dimensionamento, execução e monitoramento das medidas de reservação d'água não convencionais, iniciaram-se as análises qualitativas do escoamento, da capacidade de suporte de cada medida e da eficiência na reservação. Para o reservatório de águas pluviais, ainda sem dados de monitoramento, foram considerados(as): o projeto com dimensionamento, as previsões de consumo de água não potável e a análise econômica. Maiores detalhes no Capítulo 5, “Resultados”.

4.10. Balanço hídrico proposto para o telhado verde

O balanço hídrico do telhado verde é constituído pela: precipitação atmosférica, infiltração, escoamento subterrâneo e escoamento gerado pela geomanta ou leito drenante, que é impulsionado pela superfície impermeável do telhado verde. Através do equacionamento destes valores, pode-se admitir o armazenamento de água de chuva ΔS do telhado verde como sendo a diferença entre a somatória dos dados de entrada pela somatória dos dados de saída, conforme apresentado na Equação 4.1.

$$\Delta S = \sum \text{entradas} - \sum \text{saídas} \quad (4.1)$$

Os dados de entrada e saída do armazenamento podem ser representados pela Equação 4.2:

$$S_{(t)} - S_{(t-1)} = |P_{(t)} - P_{(t-1)}| - |ETP_{(t)} - ETP_{(t-1)}| - |E_{(t)} - E_{(t-1)}|, \quad (4.2)$$

sendo

$S_{(t)}$ = armazenamento do telhado no tempo t ;

$S_{(t-1)}$ = armazenamento do telhado no tempo $t - 1$;

$P_{(t)}$ = precipitação no tempo t ;

$P_{(t-1)}$ = precipitação no tempo $t - 1$;

$ETP_{(t)}$ = evapotranspiração real no tempo t ;

$ETP_{(t-1)}$ = evapotranspiração real no tempo $t - 1$;

$E_{(t)}$ = escoamento no telhado no tempo t ; e

$E_{(t-1)}$ = escoamento no telhado no tempo $t - 1$.

Os dados fornecidos pela estação meteorológica instalada no lote possibilitam efetuar os cálculos do balanço hídrico. Utilizando-se do método combinado ou da equação de Penman, que se baseia no balanço de energia e nas características aerodinâmicas do processo, é possível estimar a evaporação e evapotranspiração potencial gerada pela área em estudo. No entanto, algumas hipóteses podem ser assumidas pela estimativa efetuada pela própria estação instalada no lote, que considera a mesma equação.

A relação entre a intensidade do fluxo de energia efetiva q_{ef} e o calor latente de vaporização L_v é expressa pela Equação 4.3.

$$\frac{q_{ef}}{L_v} = \frac{[G \cdot (1 - a) - \sigma \cdot T^4 \cdot (0,56 - 0,09 \cdot e_a^{1/2}) \cdot (0,1 + 0,9 \cdot p)]}{L_v} \quad (4.3)$$

G = radiação incidente de onda curta em $\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{dia})$;

a = albedo da superfície;

L_v = calor latente de vaporização = $59 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{mm})$;

σ = constante de Stefan-Boltzman = $1,19 \cdot 10^{-7} \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{°K}^4)$;

T = temperatura ambiente em °K;

e_a = pressão de vapor d'água a uma altura da superfície em mmHg; e

p = relação entre a duração máxima da insolação diária e a insolação de onda curta em horas.

O valor da radiação incidente G é obtido a partir dos dados observados localmente ou através de informações dadas pela Equação 4.4.

$$G = R_t \cdot (0,24 + 0,58 \cdot p) \quad (4.4)$$

G = radiação incidente de onda curta em cal/(cm² . dia);

R_t = radiação solar no topo da atmosfera em cal/(cm² . dia), tabelado conforme a latitude mensal; e

p = relação entre a duração máxima da insolação diária e a insolação de onda curta em horas.

A pressão do vapor de água e_a é estimada com base na Equação 4.5.

$$e_a = \frac{U \cdot e_s}{100} \quad (4.5)$$

e_a = pressão de vapor d'água a uma altura da superfície em mmHg;

U = umidade relativa do ar em %; e

e_s = pressão do vapor de saturação em mmHg.

Esta pressão de vapor de saturação é calcula com base na Equação 4.6.

$$e_s = 4,58.10^{\frac{7,5.T}{237,3+T}} \quad (4.6)$$

e_s = pressão de vapor de saturação em mmHg; e

T = temperatura ambiente em °C.

A relação Δ/γ é estimada a partir da Equação 4.7, que é a derivada da Equação 4.6, transformando a pressão de vapor de saturação para mb e $\gamma = 0,66$ (constante psicrométrica em mb/°K).

$$\frac{\Delta}{\gamma} = \frac{38640.10^{\frac{7,5.T}{237,3+T}}}{(237,3 + T)^2} \quad (4.7)$$

A evaporação nas condições isotérmicas é obtida a partir da Equação 4.8.

$$E_i = 0,35.(0,5 + \frac{w_2}{160}).(e_s - e_a) \quad (4.8)$$

E_i = evaporação em mm/dia;

w_2 = velocidade do vento em km/dia;

e_s = pressão de vapor de saturação em mmHg; e

e_a = pressão de vapor d'água a uma altura da superfície em mmHg.

A evaporação diária nas é estimada a partir da Equação 4.9:

$$E_0 = \frac{\left(\frac{\Delta}{\gamma} \cdot \frac{q_{ef}}{L} + E_i \right)}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1 \right)}, \quad (4.9)$$

sendo que os componentes desta equação já foram obtidos anteriormente.

Para superfícies com vegetação, o termo aerodinâmico fica representado através da Equação 4.10.

$$E_{iv} = 0,35 \cdot \left(1 + \frac{w_2}{160} \right) \cdot (e_s - e_a) \quad (4.10)$$

Finalmente, a evapotranspiração *ETP* é estimada com base na Equação 4.11.

$$ETP = \frac{\left(\frac{\Delta}{\gamma} \cdot \frac{q_{ef}}{L} + E_{iv} \right)}{\left(\frac{\Delta}{\gamma} + 1 \right)} \quad (4.11)$$

Os valores de albedo podem ser representados pela Tabela 4.15 a seguir.

Tabela 4.15 - Valores de albedo

Superfícies	Intervalo de <i>a</i> (albedo)
Florestas coníferas	0,10 - 0,15
Florestas temporárias	0,15 - 0,2
Cereais	0,1 - 0,25
Batatas	0,15 - 0,25

Algodão	0,2 - 0,25
Campo	0,15 - 0,2
Superfície de água	0,03 - 0,1
Solos escuros	0,05 - 0,2
Argila seca	0,2 - 0,35
Solos arenosos	0,15 - 0,45

(RAUDKIVI, 1979, *apud* TUCCI, 2001)

4.11. Estimativa das relações funcionais a partir do método do SCS

Essas relações funcionais são melhores utilizadas para estimar a precipitação efetiva de projeto. A metodologia considera que são conhecidas a precipitação acumulada e a vazão de escoamento acumulada.

A partir da Equação 4.12 estabelece-se, com o termo das perdas iniciais, o valor do armazenamento.

$$S = (P_{ac} - I_a) \cdot \left[\left(\frac{P_{ac} - I_a}{Q_{ac} - 1} \right) \right] \quad (4.12)$$

S = armazenamento do solo (mm);

P_{ac} = precipitação acumulada (mm);

I_a = perdas iniciais (mm); e

Q_{ac} = escoamento acumulado (mm).

A partir da equação de S em função de CN , obtém-se a Equação 4.13.

$$CN = \frac{25400}{\left\{ (P_{ac} - I_a) \left(\frac{P_{ac} - I_a}{Q_{ac} - 1} \right) + 254 \right\}} \quad (4.13)$$

CN = curva número adimensional.

Estes cálculos permitem estimar também os dados obtidos pelo monitoramento do telhado verde, tendo como resultado o valor de CN estimado. Para o cálculo da precipitação efetiva, este método tende a resultar valores menores do que outros métodos, conforme Tucci (2001).

Esta tese torna disponível em arquivo eletrônico via CD, todos os dados coletados em seus respectivos formatos de programas utilizados, conforme:

- a) escoamento superficial: programa LDM Diver, extensão .csv
- b) estação meteorológica: programa WeatherLink 5.4, extensão .txt
- c) telhado verde: programa Data-Log TS, extensão .txt
- d) trincheira de infiltração: programa Global Logger, extensão .csv
- e) trincheira poço de infiltração: programa LDM Diver, extensão .csv.

Os dados da Tabela 4.16 a seguir representam o período de coleta dos dados para os equipamentos e/ou medidas instalados(as) no lote domiciliar. Para todo monitoramento realizado, foram considerados períodos inteiros, uma vez que eventuais falhas decorreram em média por dia ou no máximo de até 1 semana.

Tabela 4.16 - Cronograma dos dados de coleta do monitoramento das medidas instaladas.

	Monitoramento	jan/06	fev/06	mar/06	abr/06	mai/06	jun/06	jul/06	ago/06	set/06	out/06	nov/06	dez/06
1	Estação Meteorológica												
2	Trincheira de Infiltração												
3	Telhado Verde												
4	Escoamento Superficial												
5	Poço Profundo de Infiltração												
6	Biodigestor												

	Monitoramento	jan/07	fev/07	mar/07	abr/07	mai/07	jun/07	jul/07	ago/07	set/07	out/07	nov/07	dez/07
1	Estação Meteorológica												
2	Trincheira de Infiltração												
3	Telhado Verde												
4	Escoamento Superficial												
5	Poço Profundo de Infiltração												
6	Biodigestor												

	Monitoramento	jan/08	fev/08	mar/08	abr/08	mai/08	jun/08	jul/08
1	Estação Meteorológica							
2	Trincheira de Infiltração							
3	Telhado Verde							
4	Escoamento Superficial							
5	Poço Profundo de Infiltração							
6	Biodigestor							

 Período de análise dos dados

4.12. Recomendações técnicas de manutenção do sistema de reservação

Algumas recomendações técnicas de manutenção são necessárias para uma maior garantia da eficiência e operação dos dispositivos e equipamentos instalados no lote domiciliar. Tais ações dependem de inspeções *in loco* com periodicidade identificada conforme o tipo de atividade e equipamentos instalados. As Tabelas a seguir 4.17 a 4.24 representam as atividades de manutenção associadas a sua respectiva periodicidade operacional.

Tabela 4.17 - Recomendações de manutenção para o telhado verde

Atividade	Periodicidade
Irrigação, dependendo da época do ano, sendo principalmente nas épocas de maiores estiagens	Semanal
Inspeção e substituição da manta geotêxtil subsuperficial quando da troca do solo e/ou vegetação	5 anos
Substituição da manta geotêxtil nas bordas ou no peitoril a fim de evitar infiltrações e entrada de insetos pelo perímetro	Quando danificadas
Poda, sendo principalmente mais freqüente para espécies de crescimento acelerado	Se necessário
Limpeza das tubulações de drenagem no entupimento	2 anos
Inspeção com limpeza do reservatório de acumulação e áreas contíguas, devendo ser realizada principalmente com mais freqüência durante a ocorrência dos maiores períodos hidrológicos — outubro a março	Mensal

Tabela 4.18 – Recomendações de manutenção para a caixa de saída do escoamento superficial

Atividade	Periodicidade
Limpeza com varredura e remoção de resíduos com água no interior da caixa e na tubulação de drenagem de saída, principalmente após a ocorrência de eventos ou intensidades elevadas (deve-se retirar o linígrafo e a comporta antes da limpeza)	Semanal
Lavagem da comporta com água e bucha no interior da caixa, principalmente após a ocorrência de eventos ou intensidades elevadas (deve-se retirar o linígrafo antes da limpeza)	Semanal

Tabela 4.19 – Recomendações de manutenção para a trincheira de infiltração

Atividade	Periodicidade
Inspeção após a ocorrência de eventos ou intensidades elevadas, através do nível d'água nos poços de monitoramento	Na ocorrência
Inspeção da superfície retirando a primeira camada do solo até a manta de geotêxtil nas bordas da trincheira	Anual
Limpeza das britas e substituição da manta geotêxtil	Quando danificadas
Remoção de sedimentos superficiais	Mensal
Remoção de sedimentos subsuperficiais	Anual
Reconstituição imediata de áreas superficiais e subsuperficiais erodidas	Na ocorrência
Poda da cobertura vegetal e das árvores no entorno a fim de evitar crescimento exagerado, colmatação e prejuízo ao processo de infiltração	Trimestral ou semestral

Tabela 4.20 - Recomendações de manutenção para a fossa séptica biodigestora

Atividade	Periodicidade
Inspeção nas caixas de tratamento para verificação de trincas, quebras das tampas e presença de animais	Semanal
Inspeção das borrachas de vedação para redução de odores e evitar entrada de insetos e garantir o processo de decomposição anaeróbia	Mensal
Limpeza com água nas áreas externas adjacentes para evitar a presença de insetos e outros animais	Mensal
Limpeza das tubulações com jato d'água, principalmente na saída da terceira caixa para a rede pública	Semestral
Substituição dos elementos filtrantes — tela, areia e brita — existentes na terceira caixa	2 anos

Tabela 4.21 - Recomendações de manutenção para a estação meteorológica Davis Vantage Pro

Atividade	Periodicidade
Limpeza e remoção de folhagens, insetos e outros resíduos presentes no copo coletor — pluviômetro — da estação, com inspeção dos componentes após a ocorrência de eventos ou intensidades elevadas	Semanal
Inspeção da bateria e do capacitor instalado no corpo da estação, devendo ser substituídos no esgotamento de suas capacidades	Bimestral
Inspeção da data e horário programados no console, devendo estar compatíveis com o horário do computador — atentar para o período de mudança do horário de verão (recomenda-se não adotar o horário de verão)	Diário ou semanal
Após 1,5 dia sem energia e/ou na ausência de computador para coletar os dados, transferir as informações do <i>data logger</i> para um notebook devido ao intervalo de discretização de 1 minuto	Na ocorrência
Na utilização de baterias no console, verificar a indicação na sua tela para substituição das pilhas momentos antes do seu esgotamento	Semanal
Verificar no console o estado de recepção do sinal, podendo ser melhorado com o seu devido reposicionamento	Diário
Calibragem do pluviômetro	3 anos

Tabela 4.22 – Recomendações de manutenção para o linígrafo CTD Diver®

Atividade	Periodicidade
Verificação da memória do <i>data logger</i> , devido ao intervalo de discretização de 1 minuto	10 dias
Limpeza e remoção de impurezas no corpo do equipamento	Semanal
Calibragem do linígrafo	Anual
Inspeção da data e horário programados no linígrafo, devendo estar compatíveis com o horário do computador — atentar para o período de mudança do horário de verão (recomenda-se não adotar o horário de verão)	Semanal
Verificação do estado de uso da bateria do equipamento, indicado no programa de coleta dos dados do Logger Data Manager	Mensal

Tabela 4.23 – Recomendações de manutenção para o linígrafo Global Water WL-15®

Atividade	Periodicidade
Verificação da memória do <i>data logger</i> , devido ao intervalo de discretização de 1 minuto	15 dias
Limpeza e remoção de impurezas no corpo do equipamento	Semanal
Calibragem do linígrafo	Anual
Inspeção da data e horário programados no linígrafo, devendo estar compatíveis com o horário do computador — atentar para o período de mudança do horário de verão (recomenda-se não adotar o horário de verão)	Semanal
Verificação do estado de uso da bateria do equipamento	Quinzenal

Tabela 4.24 – Recomendações de manutenção para o linígrafo TS

Atividade	Periodicidade
Verificação da memória do <i>data logger</i> , devido ao intervalo de discretização de 1 minuto, através do programa Datalog	7 dias
Limpeza e remoção de impurezas no corpo do equipamento	Semanal
Calibragem do linígrafo	Anual
Inspeção da data e horário programados no linígrafo, devendo estar compatíveis com o horário do computador — atentar para o período de mudança do horário de verão (recomenda-se não adotar o horário de verão)	Semanal
Na utilização de bateria, verificar seu estado de uso	Semanal

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta basicamente os principais resultados obtidos pelos dados de monitoramento das medidas instaladas no lote domiciliar. Ela está organizada conforme os itens a seguir apresentados.

- a) estimativa dos custos de implantação de cada uma das medidas não convencionais de reservação d'água instaladas no lote;
- b) balanço hídrico de períodos característicos e dos eventos individuais do telhado verde;
- c) monitoramento de quantidade e qualidade do escoamento superficial e subsuperficial gerado pelo lote a partir de eventos naturais não induzidos;
- d) estimativa do volume de reservação;
- e) análise da eficiência da retenção hídrica individual e global; e
- f) análises laboratoriais do efluente sanitário.

O monitoramento realizado pela estação meteorológica e pelos equipamentos instalados em cada uma das medidas incorporadas no lote avaliou o comportamento hidrológico das estruturas de reservação d'água, bem como determinou a capacidade do controle da poluição difusa gerada pelo lote.

As informações obtidas compreendem um histórico de dados observados por meio da metodologia apresentada anteriormente. Os períodos denominados *períodos característicos* representam intervalos de longo prazo, definidos e contínuos. Os *eventos individuais* são aqueles observados por períodos curtos, sendo representados, portanto, por balanços de curto prazo, inferior a um dia.

5.1. Análise de viabilidade econômica de implantação das medidas não convencionais de reservação d'água

Para a implantação dos dispositivos de reservação, reúso e controle da drenagem na fonte, foi necessária a utilização de materiais de construção civil como parte das obras estruturais localizadas no lote. O projeto das medidas alocadas na residência estudada possuiu diferentes fases de implantação, que foram avaliadas financeiramente de acordo com as características locacionais e o cronograma da obra, sendo imprescindível realizar adequado planejamento antes do seu início para evitar interferências e custos indesejados.

Como parte do escopo do empreendimento, os dispositivos de controle implantados nas áreas adjacentes à residência necessitaram de um atestado técnico dos serviços em decorrência de futuras comprovações legais e comprometimento técnico. Para cada dispositivo implantado foi obtido um ART individual por profissionais habilitados e credenciados junto ao Crea de São Paulo. Os serviços prestados como obras estruturais de engenharia civil para a redução dos impactos hidrológicos na fonte que tiveram como garantia a responsabilidade e o compromisso do profissional liberal, para o estudo do caso — lote domiciliar — em questão foram:

- a) biodigestor séptico;
- b) telhado verde; e
- c) trincheira de infiltração.

O reservatório de aproveitamento de águas pluviais não foi incluído, devido a estar em fase de planejamento, aprovação e execução.

Inicialmente, as obras deram-se mediante o “término” da construção da residência principal, sendo que os ramais de tubulações hidráulicas e de drenagem foram projetados

prevendo a implantação das outras medidas, principalmente aquelas relacionadas ao esgotamento sanitário.

O levantamento de custo de cada sistema compreende principalmente os materiais de implantação, sendo que parte de sua utilização depende das condições do local, como topografia, área disponível, interferências hidráulicas etc., pois são estes que determinam a tipologia construtiva e a melhor estrutura a ser adotada.

Os sistemas atuam de forma “independente”, embora associados conjuntamente no controle da poluição hídrica local. Os custos inerentes de implantação para cada medida incorporada no lote foram analisados separadamente e, no final, estimou-se o custo total.

Na análise dos preços, todos os materiais atenderam previamente a diferentes cotações de fornecedores com estudo de viabilidade técnica-econômica, sendo, portanto, selecionado aquele de menor custo e de melhor qualidade de material no atendimento das condições do local. Todos os custos têm como mês/ano de referência-base dezembro/2005.

5.1.1. Viabilidade econômica de instalação do biodigestor

Embora a “construção” do biodigestor envolva basicamente materiais hidráulicos, a obra em questão teve custos adicionais devido à instalação do teto verde sobre as caixas de tratamento do efluente, conforme justificado anteriormente. Sabendo-se que os serviços constam de exigências particulares, optou-se por estimar separadamente os itens de serviços de cada medida instalada. Conforme lista apresentada na Tabela 4.5, é detalhado no Anexo 2 o levantamento de custo dos materiais utilizados pelo biodigestor.

Estimou-se a média de custo final dos materiais utilizados para a execução do biodigestor em R\$ 988,00 ou, tendo como cotação do preço do dólar em 3 de fevereiro de 2006 igual a R\$ 2,30, o valor final da compra dos materiais foi estimado em US\$ 445,00. A Figura 5.1 ilustra a distribuição de gastos referentes aos materiais utilizados na montagem do biodigestor.

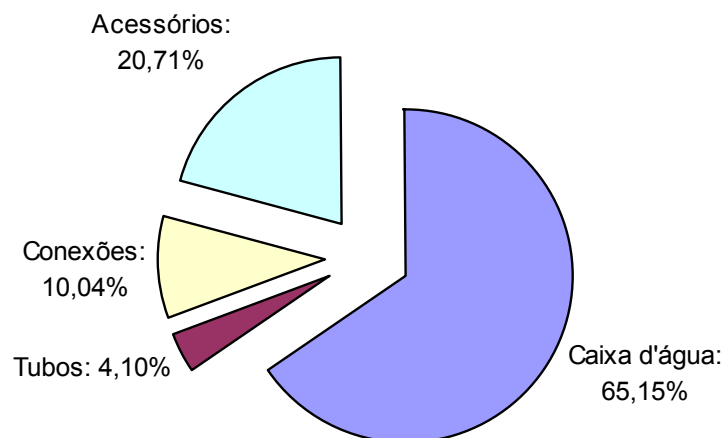


Figura 5.1 - Distribuição de custo de material para as etapas de serviços de montagem do biodigestor.

O percentual de gastos maior é o do produto caixa d'água, que onera mais de 65% do total dos materiais utilizados na montagem do biodigestor. A composição de custos unitários para a sua montagem é estipulada com base na cotação dada por fornecedores da cidade de São Carlos/SP, local de instalação do sistema de tratamento.

Para a composição dos valores e serviços preliminares utilizou-se a tabela de composição de preços orçamentários da PINI (2003). Para a elaboração dos valores de mão-de-obra consideraram-se LS de 125,29% e BDIs no valor de 30%.

Anexas encontram-se as composições unitárias de preços orçamentários utilizadas para a execução dos serviços de construção e montagem do biodigestor, do telhado verde, da trincheira de infiltração e do reservatório de águas pluviais.

Após compostos os serviços preliminares, estimou-se, através da planilha orçamentária, o valor final para a implantação do biodigestor séptico. Para o custo total de materiais, *vide* Anexo 2.

A seguir, apresenta-se a Tabela 5.1, constando a discriminação com o quantitativo de serviços realizados na obra do biodigestor. Tomou-se como cotação média do dólar dos Estados Unidos da América no mês de dezembro do ano-calendário de 2005, o valor médio correspondente a R\$ 2,30.

Tabela 5.1 - Planilha orçamentária para a montagem do biodigestor

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	SERVIÇOS PRELIMINARES				
1.1	Escavação manual	8,50	m ³	10,95	93,04
1.2	Apiloamento de fundo de valas	15,64	m ³	5,05	79,02
1.3	Reaterro apiloado de valas	7,09	m ²	13,33	94,48
1.4	Lastro de brita	0,25	m ³	55,22	13,81
	Custo do item			R\$	266,54
2	MONTAGEM DO BIODIGESTOR				
2.1	Encanador	20,00	h	2,20	44,00
2.2	Custo total de materiais (Tabela 5.1)	1,00	vb	987,87	987,87
	Custo do item			R\$	1.031,87
3	LIMPEZA FINAL				
3.1	Limpeza final	1,00	vb	15,00	15,00
	Custo do item			R\$	15,00
	CUSTO TOTAL			R\$	1.313,41
	CUSTO TOTAL			US\$	571,05

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

Portanto, o valor final para a execução da obra do biodigestor, inclusos materiais, mão-de-obra, LS de 125,29% e BDIs no valor de 30%, foi de aproximadamente R\$ 1.300,00 ou US\$ 565,00.

5.1.2. Viabilidade econômica da implantação do telhado verde

Tendo como base a tabela de composição de preços orçamentários da PINI (2003), a estimativa de custo para cada tipo de serviço foi efetuada de acordo com as medidas obtidas *in loco*. Os custos desses serviços constam a seguir, observando que buscou-se reduzir a perda de materiais no canteiro através de fiscalização da mão-de-obra e aproveitamento de alguns materiais, como aço, blocos, tijolos e madeiramento de formas.

Imediatamente após a construção do muro de arrimo e elevação da mureta de proteção da fossa, a seqüência da obra é dada pela execução do telhado verde. A composição dos preços para o serviço de construção do teto verde segue a tabela da PINI (2003), considerando como parte do escopo dos serviços: a estrutura da laje com concretagem, regularização com revestimento, impermeabilização, espalhamento de solo e plantio de vegetação.

Compor os custos para o teto verde requer serviços diversos que não constam na tabela de composição de preços orçamentários da PINI, como, por exemplo, plantio de vegetação em cobertura. Neste caso, efetuaram-se, para o cálculo deste custo, serviços que se aproximam e que podem ser considerados na hora de estimar o valor final, uma vez que sua influência econômica na composição do preço não acarreta grandes variações no custo final.

Para alguns serviços não constantes na composição de preços unitários da PINI (2003), utilizaram-se serviços equivalentes, com valores que se aproximam entre si, como, por exemplo, impermeabilização de jardineiras com à base do biocomponente de poliuretano de origem vegetal somado à manta geotêxtil. Como são obras complementares e exclusivas desta tese, não foram orçados os serviços extras, compostos pela implantação do reservatório de 320 litros de captação e reservação de água de chuva do telhado verde,

pelos acessórios de ligação com conexões e pela microssala de suporte e atendimento ao monitoramento do lote.

A planilha orçamentária de preços, a partir da composição unitária efetuada separadamente em anexo, contabiliza todo o escopo do serviço, desde a fase de fundação até os acabamentos finais de revestimento e pintura (Anexo 3). Portanto, a customização envolve itens discriminativos necessários para a construção de uma edificação com cobertura e acabamentos finais. Estão inclusos LSS de 125,29% e BDIs no valor de 30%. A cotação de preços foi realizada no final do ano de 2005. Não foram compostos os serviços repetidos constantes na composição de preços unitários do biodigestor.

Para o levantamento quantitativo de materiais dos serviços de construção do telhado verde, tem-se como referência o projeto apresentado anteriormente na Figura 4.6.

O valor final composto para a execução do telhado verde, compreendendo toda a estrutura que o envolve e os acabamentos necessários, foi de aproximadamente R\$ 3.100,00 ou US\$ 1.350,00.

A fim de se efetuar separadamente os custos de um telhado verde e um telhado convencional, elaboraram-se as planilhas do Anexo 4. Considerou-se a mesma medida por metro quadrado de construção, ou seja, 9,60 m² para ambos os serviços. Todos os custos têm como referência a cotação do dólar americano com data-base em dezembro de 2005.

Para estes serviços foram inclusos LSS de 125,29% e BDIs no valor de 30%. Deve-se salientar que a estrutura composta pelo telhado verde, além dos custos inerentes à sua execução, possui também os custos de manutenção. Este valor, calculado em função da poda, irrigação nos períodos mais secos e adubação, foi estimado anualmente em R\$ 120,00 ou US\$ 52,00 para mesma área de 9,60 m².

5.1.3. Análise econômica de implantação da trincheira de infiltração

Conforme projeto anterior, *vide* Figura 4.12, estimaram-se os custos de implantação da trincheira de infiltração. Sabendo-se que durante sua execução devem ser adotadas medidas para minimizar futuras manutenções, principalmente aquelas relacionadas à colmatação do solo, adotou-se o acompanhamento de um profissional qualificado para a execução da trincheira, inclusive com registro de ART recolhido pelos serviços.

O Anexo 5 apresenta o discriminativo composto pela execução das obras referente à trincheira de infiltração.

O valor orçado para a trincheira de infiltração foi de aproximadamente R\$ 1.100,00 ou US\$ 480,00. Os serviços de drenagem, correspondentes às tubulações e acessórios, são específicos para esta obra.

Os serviços de execução da trincheira foram compostos conforme a tabela de composição de preços orçamentários (PINI, 2003), exceto aqueles que não constam na tabela, como, por exemplo, manta geotêxtil, que teve como referência cotações orçamentárias a partir de empresas especializadas. Para todos os custos de referência da PINI, os valores obtidos possuem LS de 125,29% e BDIs no valor de 30%.

5.1.4. Viabilidade econômica da implantação do reservatório de aproveitamento de água de chuva

Para a composição de preços referente à execução do reservatório ou cisterna de aproveitamento de água de chuva, devem-se levar em consideração vários aspectos, principalmente no dimensionamento e nas condições de projeto e planejamento, uma vez que possíveis interferências na construção podem comprometer a operação do sistema.

São várias as tipologias construtivas adotadas para a execução das cisternas ou reservatórios de água de chuva, proporcionando custos diferenciados. O aproveitamento pode passar por reservatórios em PVC ou Pead, enterrados, semi-enterrados ou no nível do solo. Podem ser constituídos em alvenaria de bloco de concreto, concreto armado ou pré-moldado. Outros materiais, como reservatórios em fibra de vidro, também podem ser utilizados para o armazenamento da água da chuva.

Atrelado às características do material composto pela caixa de reservação, o sistema deve estar comprometido, entre outros aspectos, com a garantia mínima da qualidade da água coletada. Portanto, uma pré-filtragem do sistema de aproveitamento pluvial é elemento constituinte e indispensável para a retenção de impurezas contidas na primeira água de lavagem que escoar sobre o telhado, principalmente após longos períodos de estiagem. Em locais onde há maior número de árvores e aves, deve-se precaver ainda mais quanto ao que se denomina *first flood water*, ou seja, os primeiros eventos de precipitação após um período sem chuvas.

Como proposta de medidas alternativas, elaboraram-se vários orçamentos conforme a especificação do material, dimensionamento e projeto. Para cada tipologia construtiva, adotou-se como referência cotações de preços em lojas especializadas e de construção, tabela de composição de preços orçamentários (PINI, 2003) e consulta a empreendedores específicos.

5.1.4.1. Orçamento para reservatórios em concreto armado moldado *in loco*

Os materiais utilizados para a proposta de orçamento dos reservatórios de concreto armado moldado *in loco* foram levantados conforme elaboração de “projeto” desenvolvido por calculista estrutural. O dimensionamento proposto é para utilização do

reservatório enterrado no solo, ou seja, estruturalmente dimensionado para suportar cargas, pressões e possíveis influências de infiltração da água pelo solo.

Para todos os custos de referência da PINI, os valores obtidos possuem LS de 125,29% e BDIs no valor de 30%.

Nos Anexos 6 e 7 constam discriminados os itens de composição dos materiais utilizados na cisterna em concreto armado moldado *in loco* para dois volumes distintos de 8 m³ e 12 m³, respectivamente.

O custo final para a execução deste reservatório enterrado em concreto armado moldado na obra com capacidade para 8 m³ foi de aproximadamente R\$ 7.160,00 ou US\$ 3.113,00.

O custo final para a execução deste reservatório enterrado em concreto armado moldado *in loco*, com capacidade para 12 m³ foi de aproximadamente R\$ 8.000,00 ou US\$ 3.478,00.

Somando-se ambos os reservatórios de concreto armado moldado *in loco*, obtém-se, para um volume de armazenamento total de 20 m³, conforme dimensionamento previsto para a demanda de consumo estudada, um valor estimativo de R\$ 15.200,00 ou US\$ 6.600,00. Para este valor, incluíram-se: materiais, mão-de-obra, encargos sociais e benefícios de despesas indiretas.

5.1.4.2. Orçamento para reservatórios em polietileno

Outra solução para comportar o armazenamento das águas pluviais é utilizar reservatórios ou caixas d'água em polietileno. Elas devem ser estruturalmente dispostas para suportar o volume de água captada. Comercialmente, muitas empresas possuem caixas de polietileno com triplas camadas, que são: camada externa protegida contra raios

ultravioletas e agentes oxidantes; camada intermediária com proteção para raios solares e antidesenvolvimento de musgos, colônias e bactérias; e camada interna fabricada com polietileno liso de forma a garantir um maior conforto térmico da água.

O Anexo 8 apresenta os custos de implantação das caixas de polietileno, variando conforme a sua capacidade volumétrica. Enquanto a caixa de 8.000 litros possui altura de 2,15 m e diâmetro de 2,35 m, a de 12.000 litros possui altura de 3,05 m e diâmetro de 2,35 m.

A somatória dos reservatórios em polietileno para a reservação de 20.000 litros, inclusa a base de sustentação para ambas as caixas, gera um custo aproximado de R\$ 6.700,00 ou US\$ 2.900,00. A desvantagem dessas caixas é que sua estrutura não permite que elas sejam diretamente enterradas no solo, ou seja, não podem estar em contato direto com a terra. Para que elas possam ficar totalmente submersas na terra, é necessário protegê-las estruturalmente, executando-se alvenarias estruturais, muros de arrimo ou caixas em concreto previamente dimensionadas para receber e suportar eventuais sobrecargas do solo sobre o reservatório.

5.1.4.3. Orçamento para reservatórios em anéis de concreto

Como terceira e última alternativa proposta para a composição de preços das cisternas de aproveitamento de água de chuva, avaliaram-se os custos de implantação dos reservatórios através de anéis em concreto pré-moldado.

Por possuir maior resistência estrutural do que as cisternas em polietileno, optou-se por projetá-las semi-enterrada, ou seja, com metade de sua altura abaixo do nível da terra. Como comercialmente os anéis possuem dimensões com diâmetro de 0,5 metro, é necessário cuidado especial nas ligações ou no rejuntamento entre os anéis. Da mesma forma que os reservatórios em concreto armado moldado *in loco*, torna-se indispensável

para as paredes internas dos anéis a aplicação de argamassas poliméricas impermeabilizantes e, de preferência, flexíveis.

Para os custos avaliados, tomou-se como referência a TCPO da PINI (2003), com valores obtidos incluindo LS de 125,29% e BDIs no valor de 30%. O Anexo 9 apresenta os custos para os reservatórios em anéis de concreto armado.

Para o custo final das obras dos reservatórios em anéis de concreto, foi estimado, portanto, um valor aproximado de R\$ 8.800,00 ou US\$ 3.800,00, sendo inclusos todos os itens de material, mão-de-obra, encargos sociais e benefícios de despesas indiretas.

5.1.4.4. Orçamento para a composição de custos das instalações do sistema de aproveitamento de água de chuva

Conforme exposto em capítulos anteriores, o sistema de captação, armazenamento e distribuição da água da chuva deve ser projetado e desenvolvido mediante critérios técnicos e, de preferência, com o acompanhamento de profissional qualificado.

Como já existem no mercado algumas empresas que comercializam o produto final, obteve-se o orçamento básico a partir da instrumentação definida pela 3P Technik do Brasil (2007), empresa especializada no ramo de aproveitamento de água de chuva. Os custos envolvidos das instalações de distribuição de água da chuva constam na Tabela 5.2, tendo como principais componentes: filtro separador de materiais particulados grosseiros, freio d'água antiturbulência e sedimentação de fundo, sifão-ladrão contra impurezas de superfície e odores.

Tabela 5.2 - Planilha orçamentária das instalações do reservatório de aproveitamento de água de chuva

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	Filtro VF1	1	pç	865,80	865,80
2	Freio d'água	1	pç	138,50	138,50
3	Sifão-ladrão	1	pç	189,30	189,30
4	Conjunto bóia-mangueira	1	pç	265,50	265,50
5	Caixa d'água superior a 1.000 litros	1	pç	270,00	270,00
6	Tubulação e acessórios	1	vb	130,00	130,00
7	Sistema de bombeamento	1	pç	175,00	175,00
TOTAL				R\$	2.034,10

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

Após a instalação da caixa, para os acessórios de ligação, inclusive bombeamento e distribuição, obteve-se um orçamento de aproximadamente R\$ 2.000,00. Esta proposta de instalação do sistema vale para todos os reservatórios anteriormente pesquisados.

Itens complementares podem ser instalados visando incrementar ou otimizar o sistema de aproveitamento, como, por exemplo, indicadores pneumáticos que funcionam como indicadores de volume da cisterna e unidades automáticas de realimentação do sistema. No entanto, como não se trata especificamente do escopo do aproveitamento de água de chuva, optou-se pela elaboração do orçamento básico.

Todos os valores do sistema que compõem o aproveitamento de água de chuva são estimativos e incluem materiais de instalação necessária básica para o seu funcionamento.

A Tabela 5.3 apresenta comparativamente os custos finais de todos os reservatórios propostos, inclusive o de suas instalações.

Tabela 5.3 – Custo final para reservação e aproveitamento de água de chuva a partir de diferentes materiais

	Reservatório em concreto moldado <i>in loco</i>	Reservatório em polietileno	Reservatório em anéis de concreto
Característica	Enterrado	Aparente	Semi-enterrado
Volume	20 m ³	20 m ³	20 m ³
Custo Materiais (R\$)	15.200,00	6.700,00	8.800,00
Custo Instalações (R\$)	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Total (R\$)	17.200,00	8.700,00	10.800,00
Total (R\$/m³)	860,00	435,00	540,00
Total (US\$)	7.500,00	3.800,00	4.700,00
Total (US\$/m³)	370,00	190,00	235,00

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

Para as instalações, os custos referem-se ao uso de produtos comerciais utilizados comumente para os diferentes sistemas, tendo, como principal vantagem, a garantia e uma maior eficiência de funcionamento da reservação. Em todas as propostas foram embutidos mão-de-obra, custos sociais, benefícios de despesas indiretas e responsabilidade técnica da obra.

5.2. Estimativas de reservação da lâmina d'água equivalente proveniente do telhado verde

A determinação do volume de reservação d'água do escoamento gerado pelo telhado verde foi obtida a partir das características geométricas do reservatório e do telhado verde.

A projeção do sistema de reservação para o escoamento do telhado verde, conforme exposto anteriormente, foi adequada pelas dimensões da microssala de monitoramento ou sala de controle. O volume de reservação instalado para a coleta da água

de chuva do telhado verde possui capacidade para 320 litros, conforme especificação do fabricante. No entanto, visando efetuar a estimativa da lâmina equivalente a reservar, foi projetada a Figura 5.2:

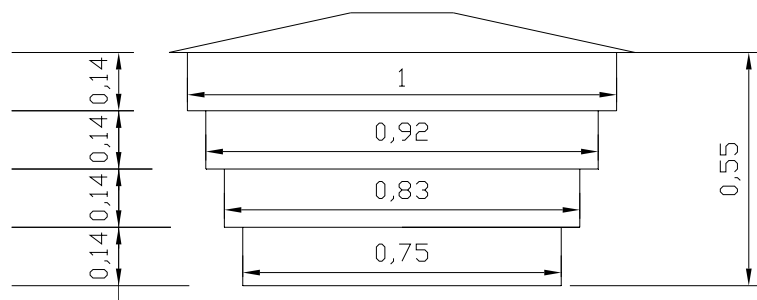


Figura 5.2 - Dimensões do reservatório de escoamento de água pluvial proveniente do telhado verde.

Com uma seção em planta do tipo circular e sabendo-se que para cada camada da caixa d'água formaram-se os volumes necessários de reservação, obteve-se a Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Características geométricas da caixa de reservação d'água do telhado verde

Anel	h (m)	d (m)	A (m ²)	V (m ³)	V (litros)	$h_{\text{acumul.}}$ (m)
V_1	0,1368	0,7450	0,4359	0,0596	59,6	0,1368
V_2	0,1368	0,8312	0,5426	0,0742	74,2	0,2735
V_3	0,1368	0,9175	0,6611	0,0904	90,4	0,4103
V_4	0,1368	1,0038	0,7914	0,1082	108,2	0,5470
Total	0,547			0,3324	332,4	

Estas medidas compuseram um volume total máximo de armazenamento de aproximadamente 332 litros até a sua cota-limite máxima. Este valor foi considerado como sendo válido para efetuar as estimativas da lâmina equivalente e para o cálculo do balanço hídrico do telhado verde como superfície de monitoramento.

Aproximadamente, a estimativa de volume a reservar deve estar compatível com a altura do sifão-ladrão instalado na porção superior do reservatório. Este extravasor

funciona na altura máxima da cota de esvaziamento do caixa e foi delimitado até a metade da quarta porção superior de sua camada-limite.

Então, o volume final de reservação máxima foi obtido através da Equação 5.1:

$$\Delta V(\text{litros}) = V_1 + V_2 + V_3 + \frac{V_4}{2} = 278,33L, \quad (5.1)$$

sendo

ΔV = capacidade de reservação da caixa total (litros);

V_1 = volume de controle da primeira camada do reservatório (litros);

V_2 = volume de controle da segunda camada do reservatório (litros);

V_3 = volume de controle da terceira camada do reservatório (litros); e

V_4 = volume de controle da quarta camada do reservatório (litros).

Com uma área de escoamento de $7,87 \text{ m}^2$, a capacidade de reservação da lâmina máxima equivalente foi calculada através da Equação 5.2.

$$E(\text{mm}) = \frac{\Delta V}{A} = 35,4\text{mm} \quad (5.2)$$

E = lâmina equivalente (mm);

ΔV = volume de reservação total do reservatório (m^3); e

A = área total do telhado verde (m^2).

A condição máxima de reservação d'água proveniente do telhado verde foi estimada, portanto, para uma precipitação de até 35 mm. Este é o valor máximo considerado a reservar para o escoamento gerado pelo teto verde, desconsiderando tanto os

acúmulos efetuados para o cálculo em série quanto para a altura de lâmina d'água *offset* necessária para o início das medições.

No entanto, a capacidade de armazenamento S sobre o telhado verde pode variar em função da intensidade da chuva e dos intervalos intereventos, ou seja, da intensidade da precipitação antecedente. O valor considerado para a obtenção do armazenamento S em mm pode ser calculado a partir da altura h do telhado verde e da porosidade ϕ_s do solo utilizado no plantio, conforme Equação 5.3.

$$S = h \cdot \phi_s \cdot 1000 \quad (5.3)$$

S = armazenamento máximo acumulado sobre o telhado verde (mm);

h = altura da platibanda sobre o telhado verde (mm); e

ϕ_s = porosidade do solo utilizado no plantio.

Os cálculos informam, considerando uma porosidade ϕ_s do solo utilizado no plantio de 53% e uma altura h da platibanda de 150 mm, um armazenamento máximo de até 79,5 mm. Este valor corresponde ao limite de precipitação acumulada no telhado verde caso não ocorra o extravasamento pelos seus condutores de saída.

5.2.1. Balanço hídrico para o telhado verde: eventos de longo prazo

Esta seção apresenta os principais resultados do balanço hídrico referente ao período característico de eventos obtidos pelo escoamento sobre o telhado verde. Obtiveram-se eventos a partir do mês de setembro de 2006 até março de 2007, no entanto apresentam-se a seguir os eventos dos meses de setembro e dezembro de 2006 e, janeiro e março de 2007.

Em função dos dados disponíveis pela estação meteorológica e pelo monitoramento das instalações de reservação, obteve-se o balanço hídrico em períodos contínuos de até um mês, válido para a residência unifamiliar em estudo.

Inicialmente, apresentam-se os resultados de monitoramento de nível observado pelo linígrafo, em conjunto com as precipitações e volumes de reservação. Em seguida, constam os resultados acumulados de precipitação e lâmina equivalente ou precipitação efetiva em função do intervalo característico.

A temperatura foi observada como parâmetro indicativo de qualidade térmica da água proporcionada pelo escoamento gerado no telhado verde, tendo como característica o tempo de permanência no reservatório de armazenamento.

Os eventos do telhado verde foram monitorados pelo linígrafo TS, apresentando oscilações em suas medições de nível devido às pequenas variações barométricas, conforme o Capítulo 4.7.3., “Equipamentos de análise quali-quantitativa das medidas instaladas”.

Evento entre 13/09/2006 e 09/10/2006

O gráfico da Figura 5.3 ilustra o monitoramento de reservação d'água no telhado verde, conforme observado pelo linígrafo. Enquanto a variável *nível medido* representa exatamente os valores coletados pelo equipamento, o *nível “corrigido FINAL”* exhibe os valores considerados no cálculo do balanço hídrico.

Nas abscissas são indicadas as datas respectivas dos índices pluviométricos para a ordenada direita e, para a ordenada esquerda, os níveis e volumes de escoamento. O período de monitoramento deste gráfico foi entre 13 de setembro e 9 de outubro de 2006.

Em 3 de outubro, o reservatório foi esvaziado, conforme indicado pela variável *nível medido* em vermelho.

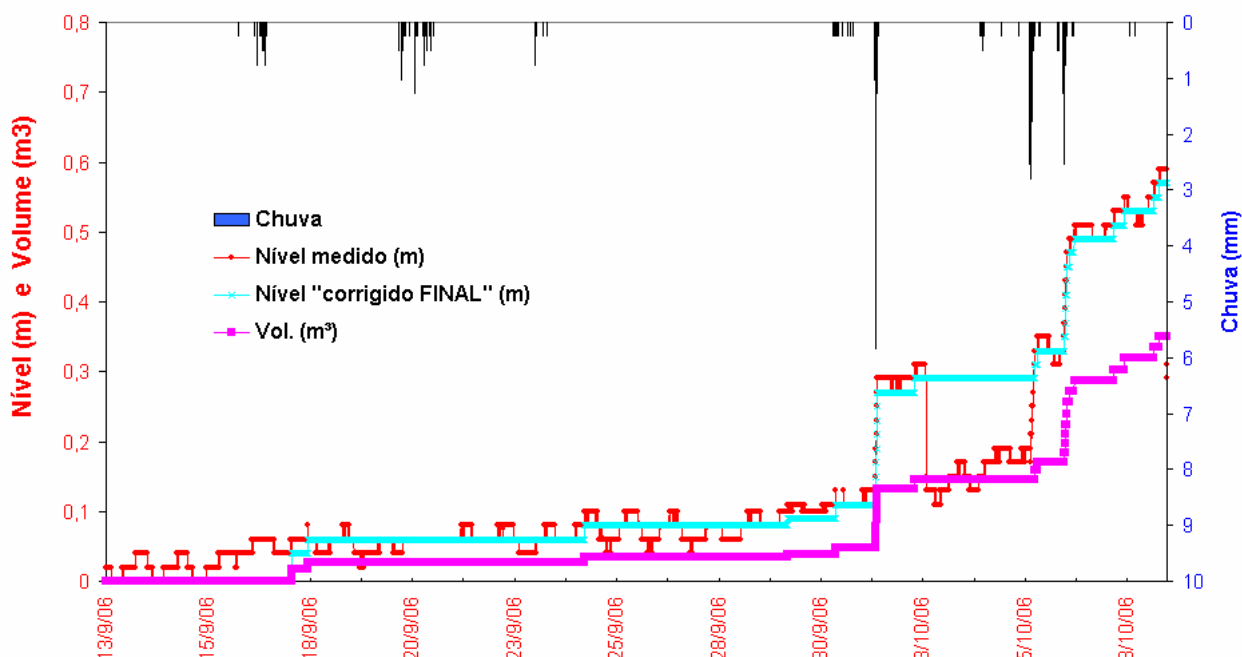


Figura 5.3 - Monitoramento observado do escoamento pluvial sobre o telhado verde entre 13/09/2006 e 09/10/2006.

Micro-eventos parciais visualizados pelo nível medido do monitoramento, devido à sensibilidade do linígrafo, apresentam diferenças de pressão no decorrer do tempo que não estão diretamente relacionadas às variações de nível decorrentes dos eventos naturais. O gráfico da Figura 5.3, auxilia na identificação dos momentos de esvaziamento do reservatório, uma vez que foram efetuados cálculos acumulados de reservação.

O gráfico da Figura 5.4 representa o balanço hídrico contínuo obtido pelo telhado verde entre o mesmo período anterior, de 13 de setembro a 9 de outubro de 2006. A ETP_{ac} representa a evapotranspiração acumulada, observada pelo monitoramento, que utiliza a equação de Penman-Monteith em seu cálculo. As lâminas de *Retenção* foram estimadas a partir da Equação 5.4. Todos os parâmetros são expressos em mm.

$$\text{Retenção} = P_{ac} - L_{eq.ac} - ETR_{ac}. \quad (5.4)$$

A área de escoamento do telhado verde foi de 7,87 m², conforme apresentado no Capítulo 4.5.1., “Classificação de uso e ocupação do solo do lote”.

Para o mesmo período de eventos, também foram avaliadas as condições térmicas, tanto do ambiente quanto internamente à medida instalada, ou seja, na reservação d’água. A Figura 5.5 ilustra os valores de temperatura, sendo *Temp.Res.* a temperatura de reservação e *Temp.Ext.* a temperatura ambiente, ambas expressas em °C. A temperatura de reservação considera a cota mínima d’água, devido à altura da válvula de limpeza cobrir a espessura do equipamento. Para a temperatura ambiente, as variações térmicas ocorreram entre 11 e 33 °C, enquanto que a temperatura de reservação oscilou entre 19 e 25 °C.

As perdas iniciais e a infiltração estão contidas na retenção, sendo, portanto, variáveis no tempo. Conforme é gerado o escoamento, as condições de permeabilidade do solo sobre o telhado são modificadas mediante a reservação de água obtida pelo solo. Desde o início da precipitação, o armazenamento se acumula totalmente no telhado verde até o instante em que é gerado o escoamento. A partir daí, ocorre um balanço entre os componentes analisados.

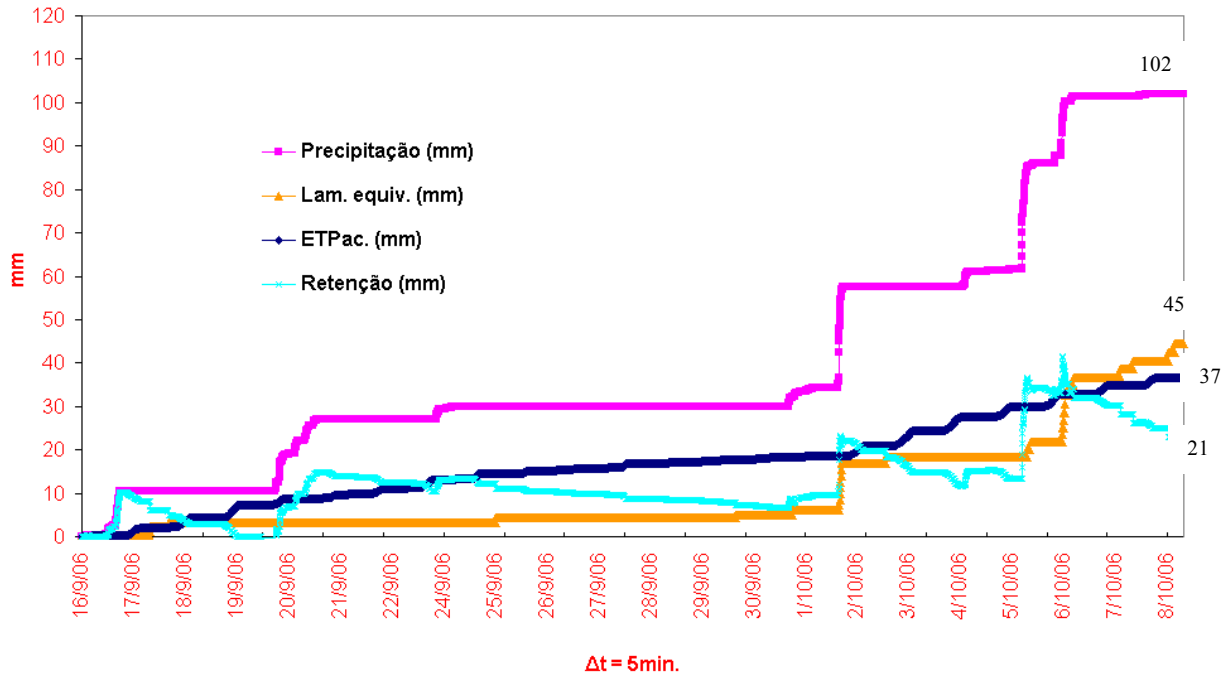


Figura 5.4 - Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 13/09/2006 e 09/10/2006.

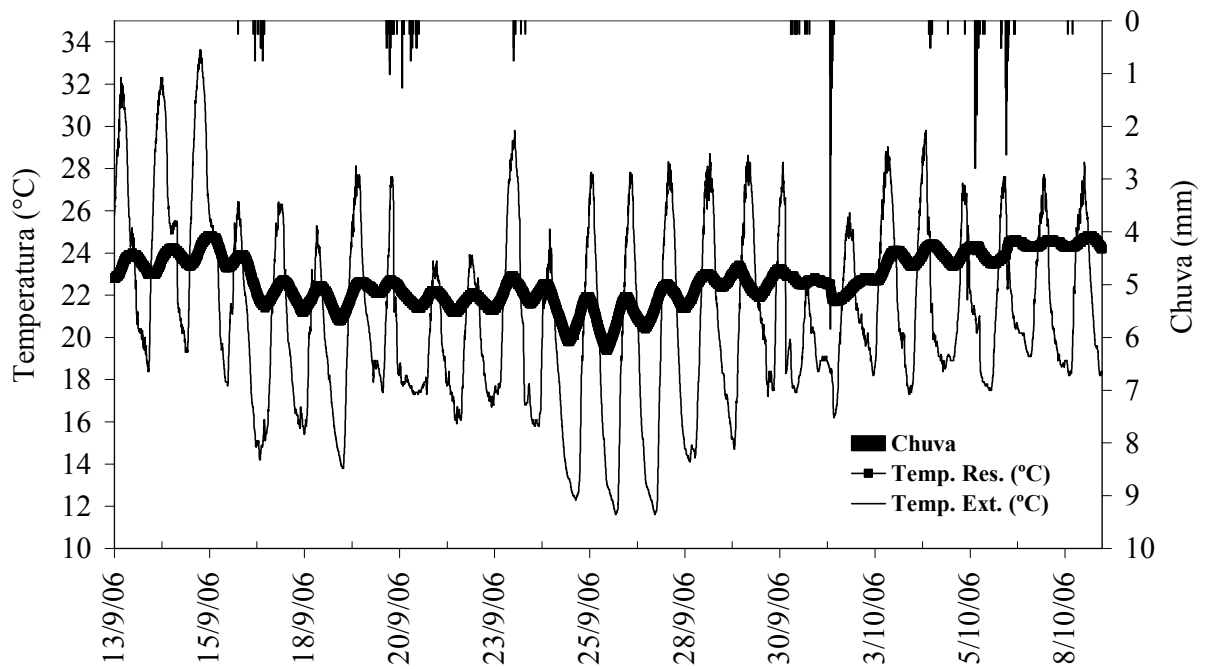


Figura 5.5 - Temperatura do escoamento e do ambiente para o período característico entre 13/09/2006 e 09/10/2006.

Evento entre 04/12/2006 e 11/12/2006

O gráfico da Figura 5.6 informa o balanço hídrico entre 4 e 11 de dezembro de 2006.

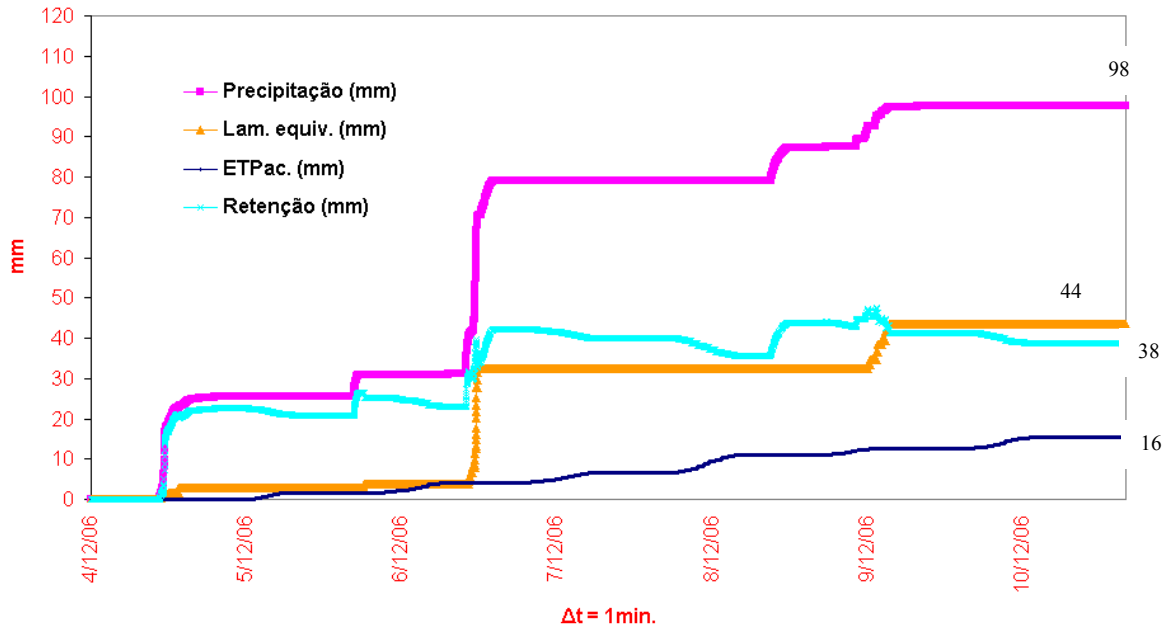


Figura 5.6 - Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 04/12/2006 e 11/12/2006.

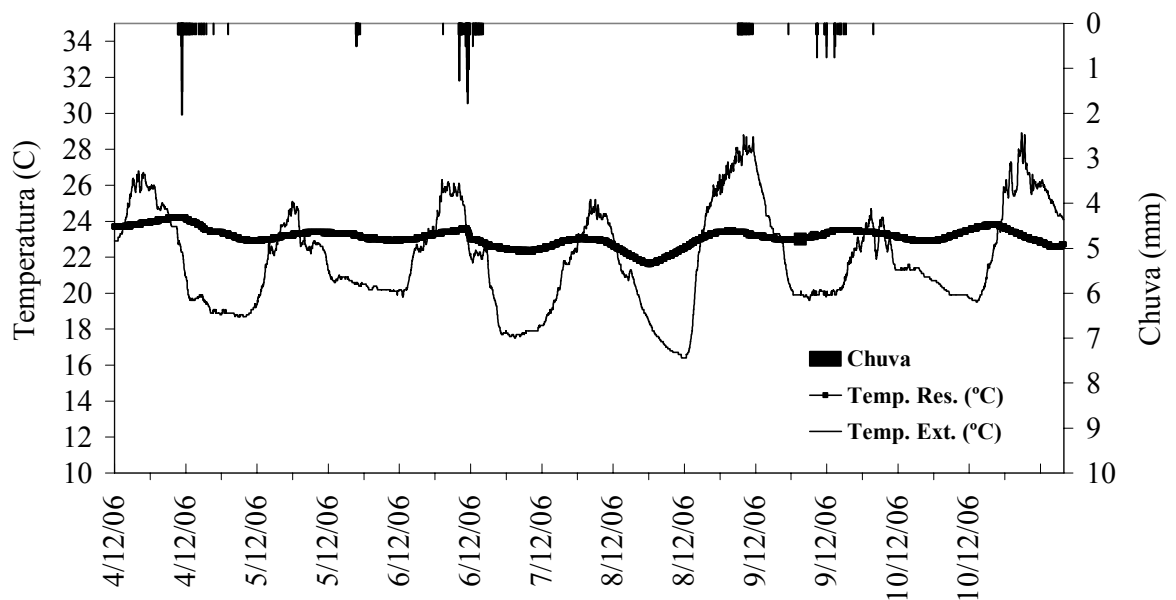


Figura 5.7 - Temperatura do escoamento e do ambiente para o período característico entre 04/12/2006 e 11/12/2006.

O eixo das abscissas consta da variável independente tempo, e as ordenadas estão representadas na mesma escala que o gráfico anterior. Com uma variação Δt de 5 minutos, o gráfico ilustra cinco eventos representados pela precipitação observada.

A Figura 5.7 representa a variação da temperatura para o mesmo período característico avaliado. Para temperaturas externas, as oscilações variaram entre 29° e 16°C, enquanto que a temperatura da água no interior do reservatório variou entre 21° e 24°C.

Os eventos que ocorrem em períodos característicos podem ser mais representativos do que os isolados, devido a considerarem na geração do escoamento as condições de umidade antecedente do solo. Com cinco eventos associados, o período entre 4 e 11 de dezembro de 2006 da Figura 5.6 demonstra, neste intervalo, a capacidade de reserva do solo no decorrer de vários eventos intermediários. O escoamento máximo gerado para esse período foi de 44 mm com uma precipitação de 98 mm.

O balanço hídrico de longo prazo, identificado pelo período característico, representa o escoamento, a precipitação e a evapotranspiração acumulados no tempo, mais a lâmina retida ou a precipitação efetiva. Não foram considerados no balanço os eventos de irrigação, que podem influenciar significativamente no cálculo do balanço, dependendo da periodicidade e tempo de molhamento, na capacidade máxima de retenção pelo solo. Portanto, alguns eventos podem ter sofrido interferências em suas medições em determinados períodos, decorrentes do acréscimo de armazenamento de água no solo pela irrigação.

Eventos entre 16/12/2006 e 26/12/2006

Após recorrer aos dados meteorológicos, verificou-se que houve perda de dados de chuva na estação entre 12h17 em 16 de dezembro até 17h51 em 19 de dezembro de 2006. Isto provavelmente confirmaria as condições médias de umidade antecedente, com características de solo saturado e precipitações acumuladas, gerando coeficiente de escoamento acima da média.

Entre 21 e 26 de dezembro de 2006 também ocorreram falhas no monitoramento dos dados da estação meteorológica, devido à manutenção corretiva e ao *upgrade* do sistema operacional pela sala de controle. O único evento monitorado durante este período obteve precipitação total de 6 mm. O linígrafo registrou nesse intervalo lâminas de até 16 mm.

Eventos entre 26/12/2006 e 01/01/2007

Os eventos decorrentes da semana seguinte, entre 26 de dezembro de 2006 e 1º de janeiro de 2007, indicaram precipitações de intensidade baixa, porém bem distribuídas no tempo. Com valores estimados entre 1,5 mm/h e 3,5 mm/h, as intensidades tiveram durações superiores acima de 10 horas. A Figura 5.8 representa os níveis de escoamento gerados pelo equipamento e a chuva observada. Em 31 de dezembro de 2006, às 15h17, o reservatório foi esvaziado. *Nível corrigido FINAL* e *Volume* foram acumulados no tempo.

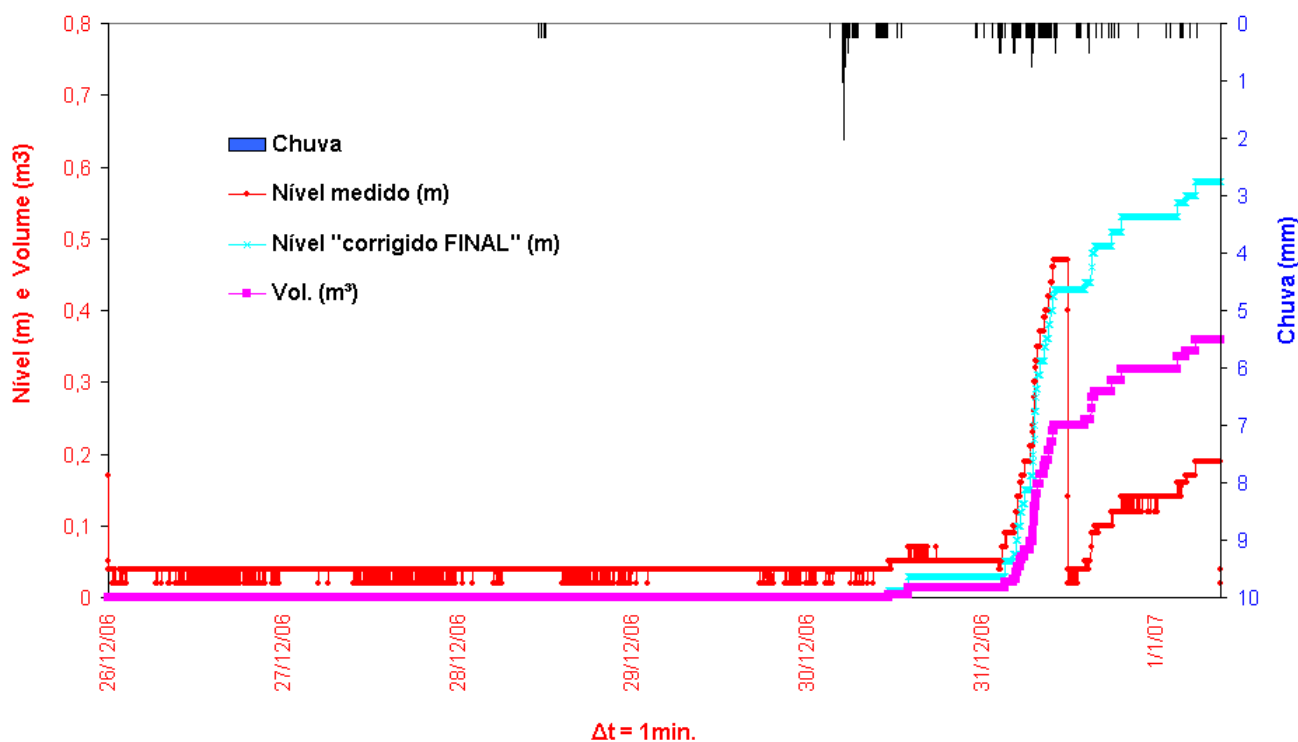


Figura 5.8 – Monitoramento observado do escoamento pluvial sobre o telhado verde entre 26/12/2006 e 01/01/2007.

Operacionalmente, a capacidade de suporte e a estrutura de reservação associadas ao funcionamento do linígrafo no reservatório de águas pluviais que escoam do telhado verde impossibilitaram a observação de alguns eventos. A altura máxima de extravazamento pelo ladrão do reservatório, com capacidade para 320 litros, foi calculada em 0,47 m.

Eventos entre 01/01/2007 e 07/07/2007

O período característico entre 1º de janeiro e 7 de julho de 2007 foi desconsiderado devido à quantidade de eventos observados, porém não monitorados na caixa de reservação. A carência de um sistema de esgotamento automático do acúmulo das águas provenientes do telhado verde e a falta de operação manual — abertura e fechamento — prejudicaram a coleta dos dados, embora tenham sido realizadas visitas diárias ao lote durante a semana. Ao todo, durante essa semana, foram realizadas quatro aberturas e

fechamentos no registro de esfera para liberação do volume máximo atingido pela caixa e posterior recarga. Durante esse período, as precipitações atingiram valores de até 150 mm. O escoamento superficial observado, considerando os eventos perdidos, foi aproximado do valor precipitado. Embora parte dos valores tenha sido perdido no extravasamento, algumas medições realizadas proporcionaram escoamentos que indicaram saturação do solo, em vista da ocorrência de chuvas diárias no decorrer do período característico.

Eventos entre 20/01/2007 e 26/01/2007

Entre 20 e 26 de janeiro de 2007, conforme Figura 5.9, os eventos característicos para o período estimaram uma taxa de escoamento de 58% para uma precipitação de 82 mm. Este percentual indica um coeficiente de escoamento característico do período admitido para o telhado verde.

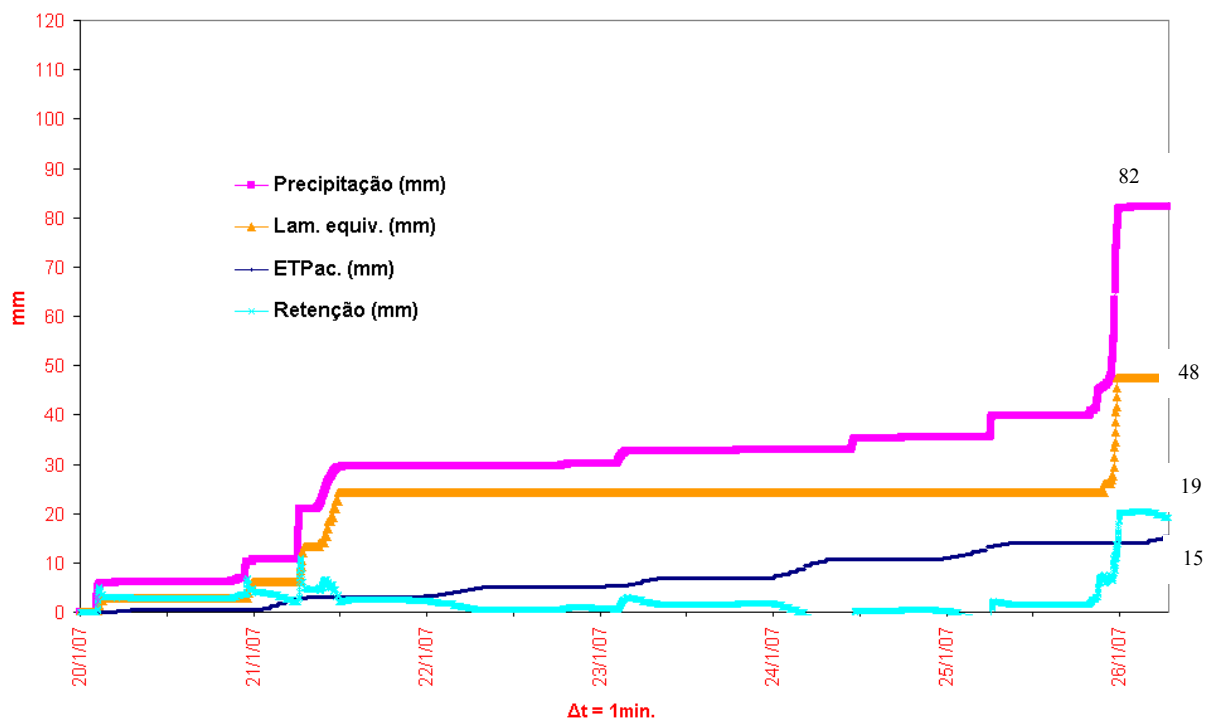


Figura 5.9 - Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 20/01/2007 e 26/01/2007.

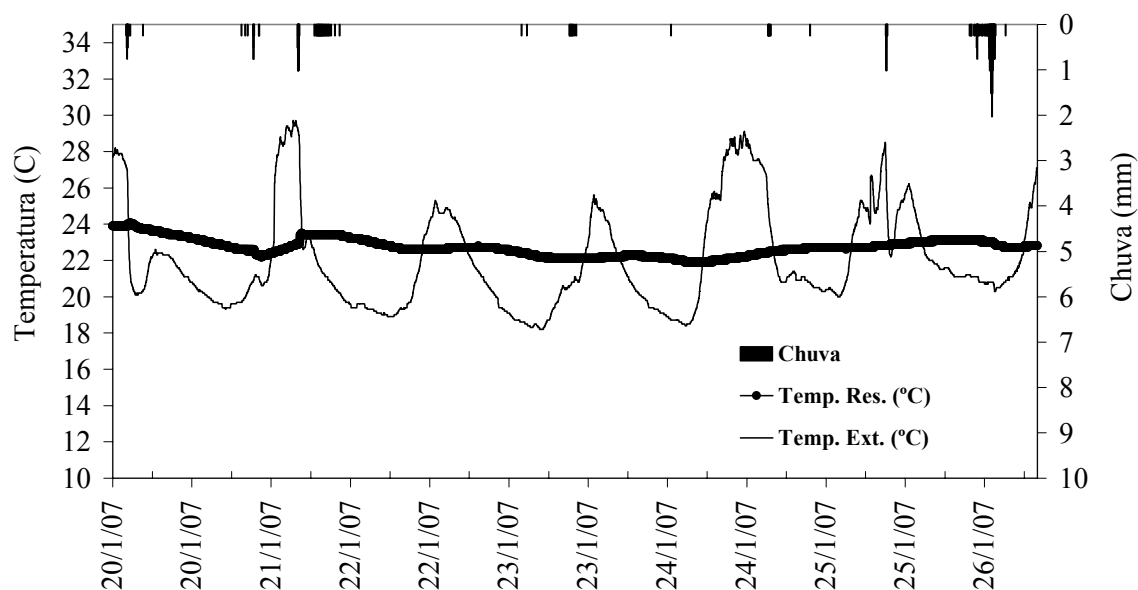


Figura 5.10 - Temperatura do escoamento e do ambiente para o período característico entre 20/01/2007 e 26/01/2007.

A Figura 5.10 indica a variação da temperatura referente ao monitoramento térmico do ambiente externo e no interior do reservatório. Enquanto que a diferença da temperatura externa foi de 11°C, a temperatura da água no interior do reservatório foi de 2,2°C.

Evento entre 26/01/2007 e 02/02/2007

As chuvas da semana seguinte, caracterizadas individualmente por serem de intensidade média ($10 \leq i < 30$ mm/h) e alta ($i > 30$ mm/h), como pode ser visto na Figura 5.11, proporcionaram um escoamento de 35 mm. O reservatório obteve um volume de 0,30 m³ a partir da precipitação estimada em 88 mm e coeficiente de escoamento de 0,40 para esse período entre 26 de janeiro e 2 de fevereiro de 2007.

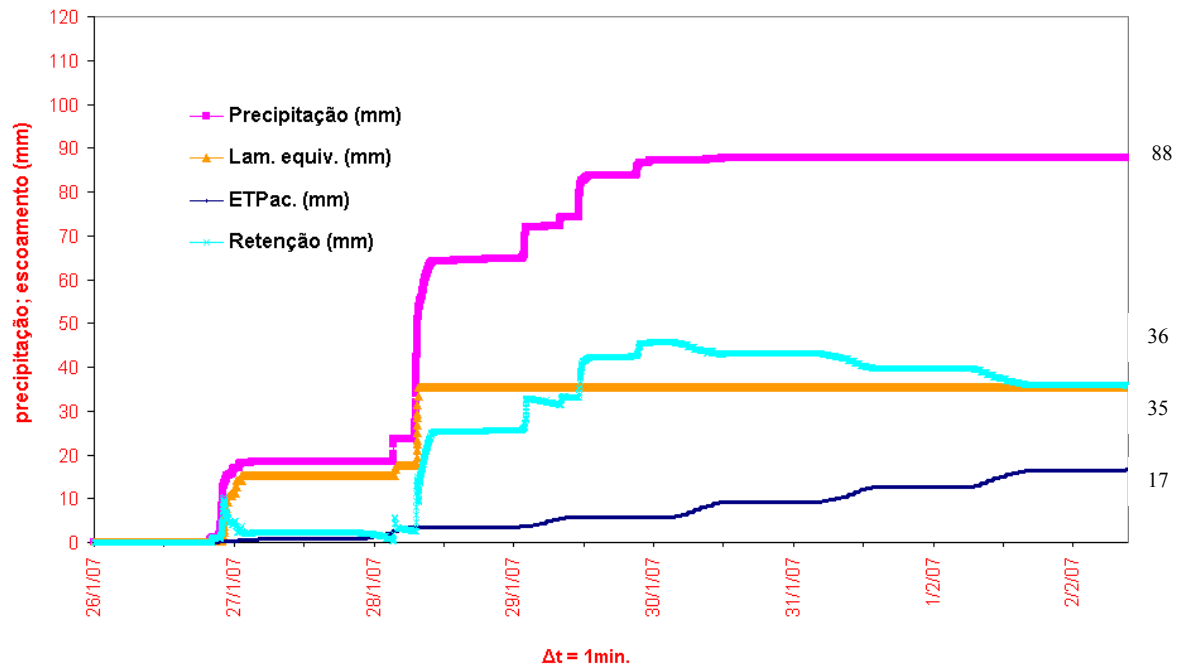


Figura 5.11 – Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 26/01/2007 e 02/02/2007.

Após aproximadamente três dias de intervalos intereventos, o armazenamento para o período entre 2 e 9 de fevereiro de 2007, foi de 53 mm para uma precipitação de 95 mm. Embora o período tenha gerado uma lâmina equivalente acumulada de aproximadamente 42 mm, o telhado verde absorveu intensidades de até 4 mm/h sem proporcionar escoamento durante aproximadamente quatro dias, conforme Figura 5.12.

Evento entre 02/02/2007 e 09/02/2007

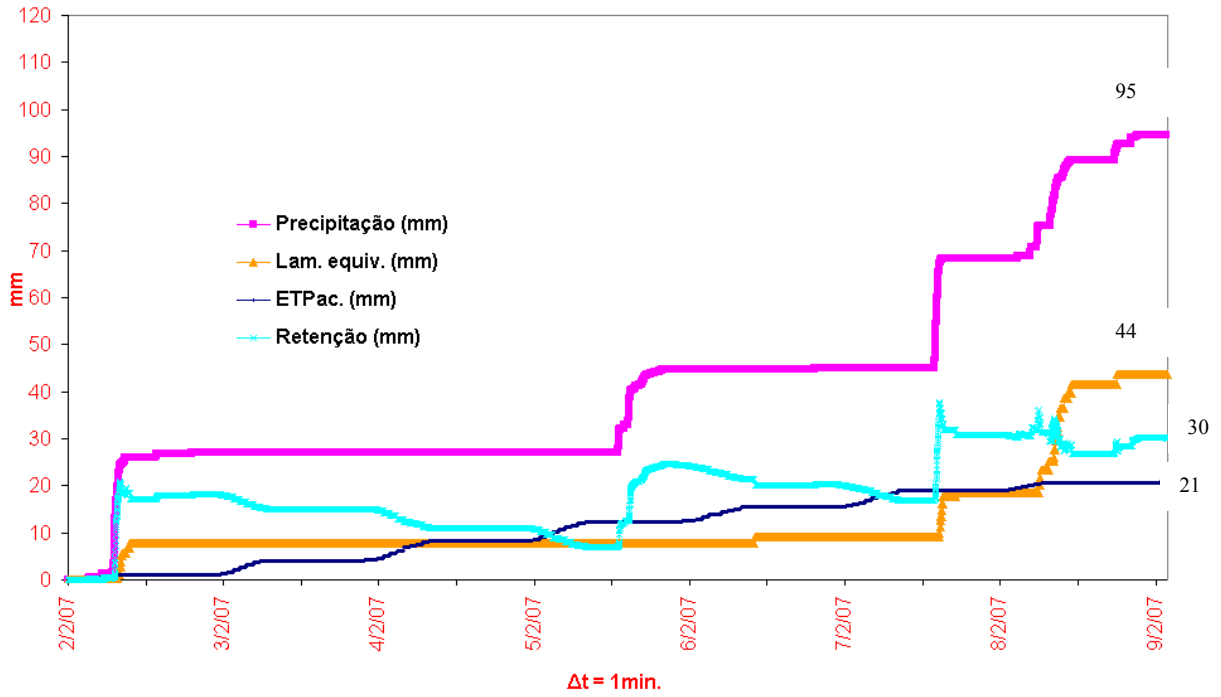


Figura 5.12 - Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 02/02/2007 e 09/02/2007.

Evento entre 16/03/2007 e 23/03/2007

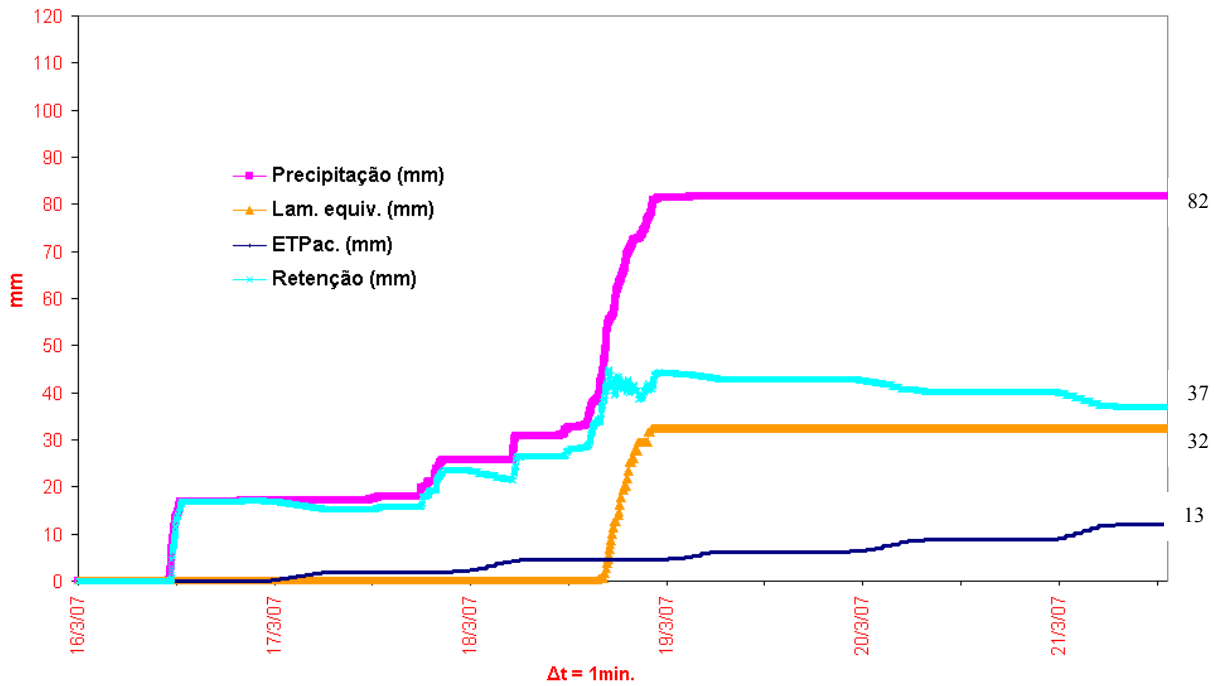


Figura 5.13 - Balanço hídrico obtido pelos dados do telhado verde entre 16/03/2007 e 23/03/2007.

Na semana entre 16 e 23 de março de 2007, a retenção pelo solo durante o início do evento foi praticamente total, conforme observado na Figura 5.13. Durante o primeiro evento do balanço contínuo característico, o telhado verde reteve o total precipitado, estimado em 17 mm. Na condição de saturação do solo, no evento individualizado seguinte, o escoamento teve início à 1h36, em 19 de março de 2007, com início da precipitação à 0h06; portanto, com 1h30 de retenção pelo solo até o início do escoamento.

Coefficiente de escoamento para o telhado verde: eventos de longo prazo

A partir dos valores observados no período característico, contemplados no balanço hídrico de longo prazo, estimou-se o coeficiente de escoamento para cada um desses períodos, ilustrado na Figura 5.14.

O coeficiente de escoamento estimado em 82% para o período ente 14 e 20 de janeiro de 2007 deve-se não somente à saturação do solo no decorrer do período com chuvas observadas de aproximadamente 80 mm, mas, principalmente, devido ao baixo intervalo interevento, estimado em 14 horas.

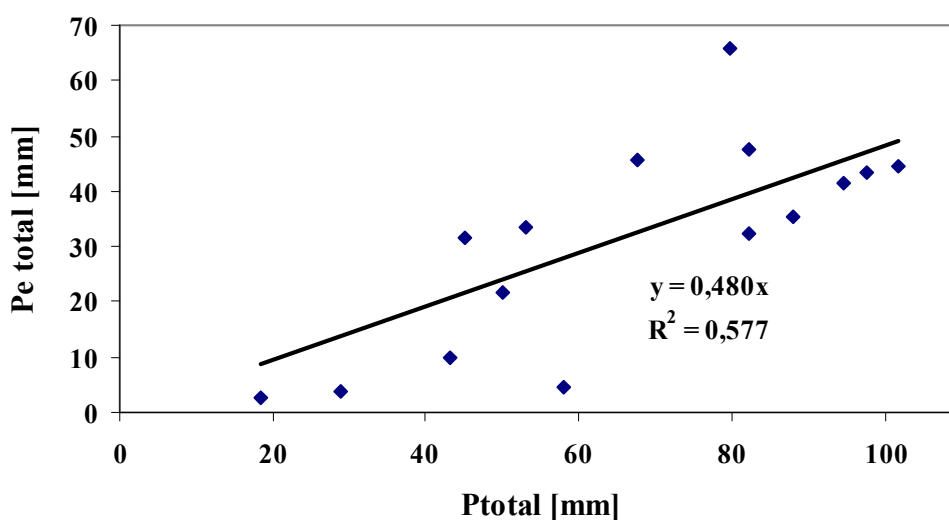


Figura 5.14 - Coeficiente de escoamento do telhado verde para diversos períodos característicos.

Pe_{total} entende-se como precipitação efetiva ou lâmina de escoamento equivalente, e P_{total} é a precipitação máxima atingida de todos os eventos observados pelo período característico. A partir da tendência, calculou-se um Ce de 0,48 para o telhado verde. Este coeficiente, em comparação com os valores de referência (Tabela 3.3), é considerado alto para a demanda observada. No entanto, o coeficiente está abaixo da média observada para telhados e aproximado dos valores distribuídos para *quintais* e *lotes vazios*.

As intensidades médias decorrentes do período característico podem estimar eventos com curtas durações e precipitações altas, como, por exemplo, na semana entre 18 e 21 de dezembro de 2006, caracterizada por intensidades relativamente altas. Portanto, deve-se considerar algumas incertezas entre os períodos característicos. Os eventos consideram, quando uniformizados continuamente no decorrer do balanço hídrico de longo prazo, as condições de umidade antecedentes no solo.

Na Tabela 5.5, os períodos foram rearranjados em função da intensidade média, tendo como característica as precipitações acumuladas no período, P_{total} , e as lâminas equivalentes, nomeadas como Pe ou *precipitação efetiva*. O início e o fim referem-se ao intervalo de tempo do evento característico. O período de retorno Tr foi estimado a partir de Barbassa (1991), considerando todo o período de análise. O volume escoado $V_{escoado}$ indica a quantidade de escoamento coletada pelo reservatório de acumulação.

Tabela 5.5 – Balanço hídrico inter-eventos em períodos característicos com monitoramento contínuo no telhado verde

N	Período	Início (h:mim.)	Fim (h:mim.)	duração (min.)	P_{total} (mm)	P_e (mm)	i_{med} (mm/h)	Tr (anos)	$V_{escoado}$ (m ³)
1	27/11 a 4/12/06	29/11/06 1:25	3/12/06 21:35	6.970	18,5	2,7	0,16	0,0	0,022
2	13/9 a 9/10/06	16/9/06 15:42	7/10/06 0:30	29.328	101,9	44,6	0,21	21,5	0,350
3	20 a 27/11/06	20/11/06 16:22	26/11/06 17:50	8.728	43,1	9,9	0,30	0,8	0,078
4	7 a 14/1/07	7/1/07 16:47	14/1/07 1:00	9.133	50,1	21,8	0,33	1,5	0,171
5	19/10 a 06/11/06	27/10/06 23:30	3/11/06 6:20	9.050	57,9	4,4	0,38	2,7	0,300
6	11 a 18/12/06	13/12/06 16:56	15/12/06 23:50	3.294	28,8	3,9	0,52	0,2	0,300
7	20 a 26/1/07	20/1/07 12:18	26/1/07 9:49	8.491	82,1	47,6	0,58	12,2	0,454
8	2 a 9/2/07	2/2/07 12:48	9/2/07 5:54	9.666	94,6	41,6	0,59	21,4	0,343
9	14 a 20/1/07	14/1/07 14:55	19/1/07 20:15	7.520	79,8	65,7	0,64	11,2	0,359
10	26/12/06 a 1/1/07	28/12/06 21:26	1/1/07 7:39	4.933	67,6	45,6	0,82	6,2	0,300
11	4 a 11/12/06	4/12/06 19:33	9/12/06 18:04	7.111	97,5	43,6	0,82	26,6	0,300
12	26/2 a 4/3/07	26/2/07 19:40	28/2/07 20:41	2.941	52,9	33,5	1,08	2,6	0,248
13	26/1 a 2/2/07	27/1/07 9:48	30/1/07 6:12	4.104	87,9	35,5	1,28	20,0	0,300
14	16 a 23/3/07	16/3/07 22:00	19/3/07 12:49	3.769	82,1	32,5	1,31	15,4	0,300
15	18 a 21/12/06	20/12/06 4:14	20/12/06 13:08	534	45,0	31,5	5,06	2,3	0,248

Em função da capacidade de armazenamento máximo inicial do solo sobre o telhado verde, estimou-se o tempo máximo de concentração T_c até o início da geração do escoamento. Estes dados caracterizam o tempo de permanência ou de retenção da precipitação no solo sobre o telhado verde antes do início de seu escoamento.

Picos de intervalo intereventos ou sem chuva deveriam refletir nos resultados do tempo de permanência ou de concentração. No entanto, isto muitas vezes não ocorre

devido a intensidades baixas saturarem o solo em tempos prolongados, da mesma forma quando intensidades altas proporcionam um rápido escoamento em tempos relativamente pequenos. O tempo de concentração T_c estimado foi alto ($T_c > 1.500$ min.) para intensidades pluviométricas baixas ($i < 10$ mm/h).

A determinação da curva do coeficiente de escoamento em função do intervalo inteventos indica que o aumento do período sem chuvas faz diminuir o coeficiente de escoamento sobre o telhado verde. Contudo, o recesso hidrológico não é fator determinante para a indicação deste coeficiente, devendo-se levar em consideração a lâmina de escoamento gerada pela precipitação total.

5.2.2. Balanço hídrico do telhado verde: eventos de curto prazo

Em continuidade ao balanço hídrico dos eventos gerados pelo escoamento do telhado verde e pelo monitoramento instalado, os eventos periódicos característicos foram desmembrados em eventos individuais e particulares. Estes eventos representam “isoladamente” as precipitações e as lâminas equivalentes ou as precipitações efetivas geradas em períodos menores que um dia.

O período de coleta dos eventos de curto prazo foi o mesmo considerado anteriormente para o período característico, ou seja, entre setembro de 2006 e março de 2007. Ao todo, foram selecionados mais de 120 eventos entre aqueles considerados de maior relevância e perspectiva hidrológica nas análises.

A metodologia de cálculo e de estimativa de reservação do telhado verde observada pelo linígrafo considerou como hipótese a evapotranspiração nula, uma vez que os intervalos observados pela estação a cada hora e os valores na discretização dos eventos eram pequenos para a escala de análise. Em resumo, o balanço hídrico de curto prazo

estabelece dentro de uma escala ampliada os acontecimentos “individuais” da precipitação do período característico.

O comportamento hidrológico proporcionado pelo telhado verde, após a ocorrência de uma seqüência de precipitações, indica que, após o início das chuvas, existe um intervalo de tempo para o começo do escoamento, dependendo das condições de umidade do solo. Este intervalo deve-se ao armazenamento do começo, às perdas iniciais por interceptação e depressões sobre o telhado e ao próprio tempo de retardo de resposta da superfície devido ao deslocamento até o início do escoamento.

Os eventos selecionados de curto prazo compreendem aqueles que atingiram um período de precipitação contínuo com tempo de resposta para o escoamento superficial e interrupção do evento no instante em que termina a precipitação e o escoamento.

A Equação 5.5 expressa a condição do balanço hídrico para eventos de curto prazo, tendo como hipótese a $ETR = 0$ e assumindo, portanto, uma verticalidade na função dos parâmetros de entrada e saída.

$$\text{Retenção} = P_{ac} - L_{eq.ac} \quad (5.5)$$

Retenção = lâmina retida pelo solo ou devido às perdas iniciais;

P_{ac} = precipitação acumulada do evento; e

$L_{eq.ac}$ = lâmina equivalente do escoamento gerada pelo telhado verde.

Evento em 01/10/2006 e 02/10/2006

A Figura 5.15 ilustra dois eventos com início do primeiro evento em 1º de outubro de 2006, sem geração do escoamento. Após aproximadamente 13 horas iniciou-se

o segundo evento, às 4h07, em 2 de outubro de 2006. Com duração de duas horas, este evento registrou intensidade média de 11 mm/h. O armazenamento no solo é representado por *Retenção*, e pode ser considerada como: as perdas iniciais mais a infiltração, expressas em mm.

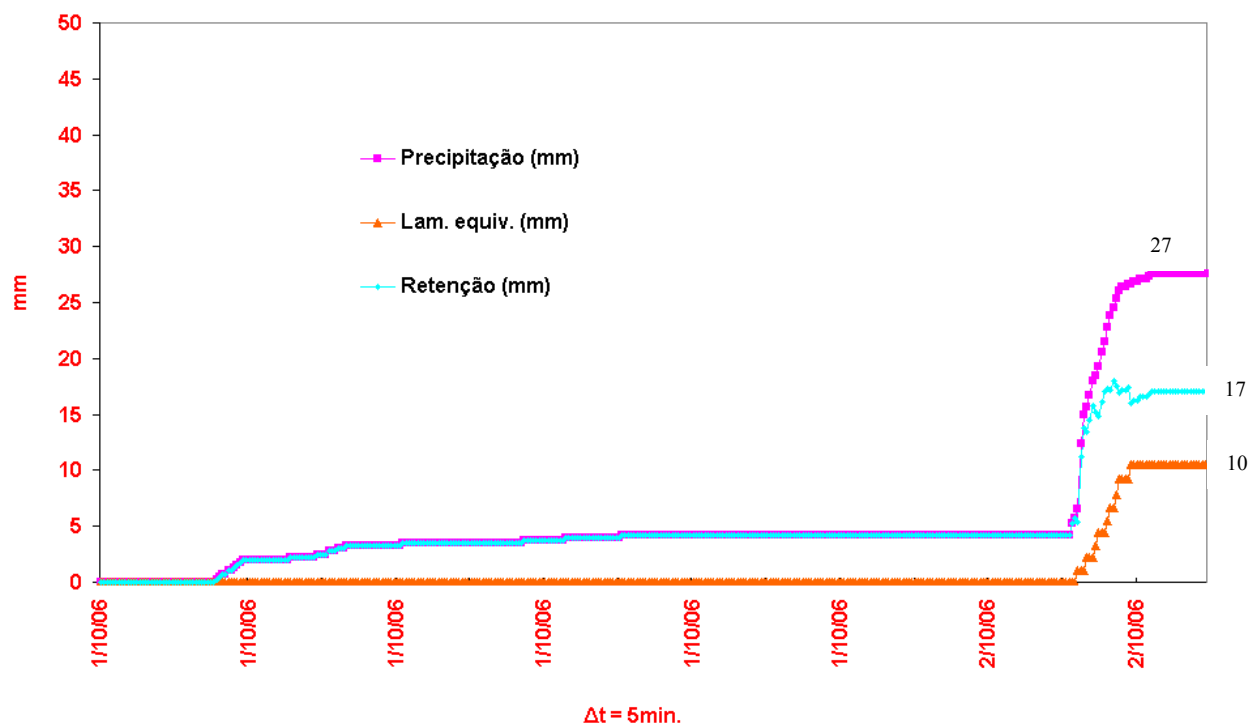


Figura 5.15 - Eventos de curto prazo para o telhado verde entre 01/10/2006 e 02/10/2006.

A precipitação máxima gerada para este evento, que está distribuído em dois eventos distintos e com intervalo de discretização dos dados em 5 minutos, foi de 27,6 mm com escoamento total de 9,5 mm. Enquanto o primeiro evento teve precipitação parcial de 4,3 mm sem escoamento, o evento seguinte contribuiu com precipitação de 23,4 mm e lâmina equivalente de 9,5 mm. No entanto, o tempo de concentração ou de resposta do escoamento para o segundo evento foi estimado em 11 minutos, visto as condições de saturação do solo decorrentes do evento anterior.

As condições pluviométricas de ambos também se diferem devido à intensidade média calculada para o período. O primeiro evento, com duração de aproximadamente 705

minutos, obteve uma intensidade considerada baixa, estimada em 0,36 mm/h. Por outro lado, o segundo evento, com precipitação de 23,4 mm em 139 minutos, apresentou uma intensidade média de 11 mm/h.

Evento em 05/10/2006 e 06/10/2006

A distribuição do evento apresentado na Figura 5.16, caracterizado por três eventos distintos, foi agrupada em um único gráfico. A precipitação total gerada para estes eventos entre 5 e 6 de outubro de 2006, foi de aproximadamente 42 mm, sendo respectivamente 3,5 mm, 24,1 mm e 14,4 mm para o primeiro, segundo e terceiro eventos. As lâminas totais correspondentes foram: 1,1 mm, 9,5 mm e 10,7 mm. Embora o segundo evento tenha tido de maior índice pluviométrico, o escoamento gerado por ele foi inferior ao do terceiro. Isto se deve provavelmente ao armazenamento inicial ter sido maior no segundo evento, em decorrência de um baixo período relativo de umidade antecedente do solo. O tempo de concentração para o início do escoamento, no entanto, neste segundo evento, foi baixo em relação aos outros eventos, principalmente pela maior intensidade pluviométrica observada no período. As perdas iniciais e a infiltração estão representados por *Retenção*.

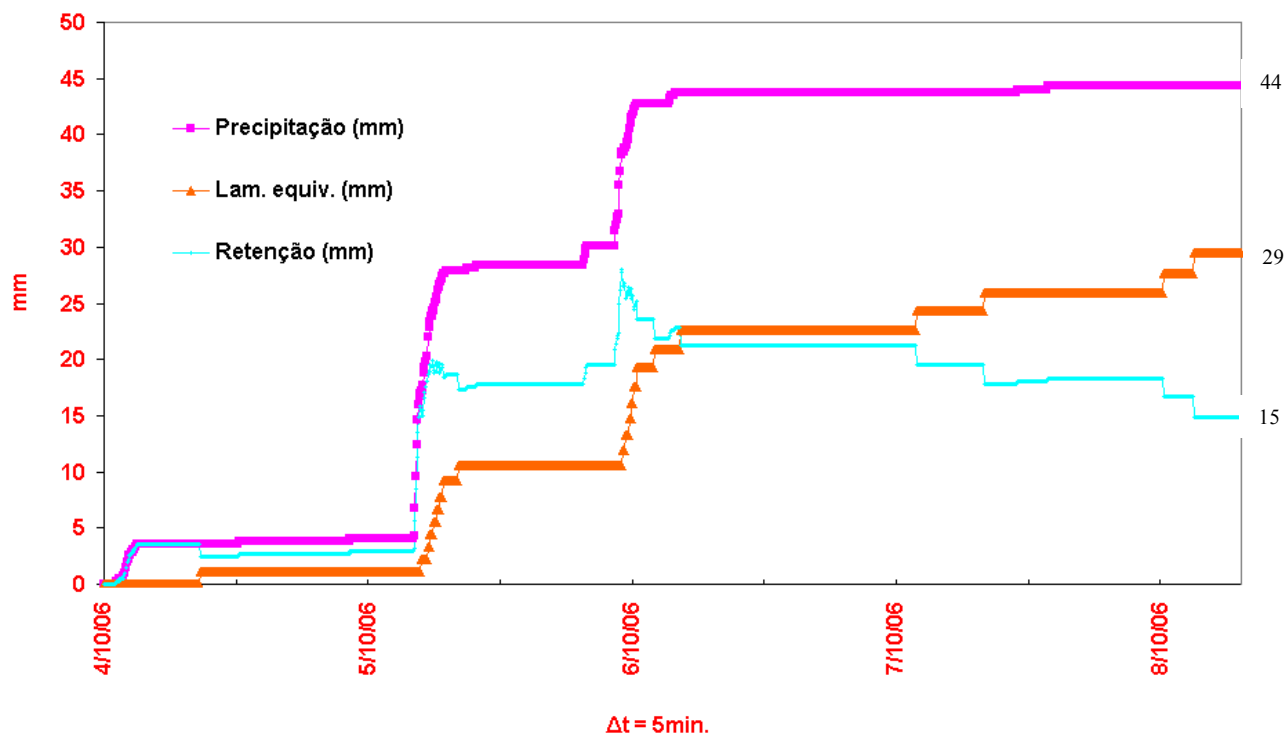


Figura 5.16 - Eventos de curto prazo para o telhado verde entre 04/10/2006 e 06/10/2006.

Conforme descrito anteriormente, os intervalos intereventos são considerados determinantes para a capacidade máxima de saturação do solo. Para esses eventos, com intervalo de discretização dos dados de cinco minutos, foram observados os tempos máximos do final da “primeira chuva” até o início da próxima precipitação, estabelecendo a relação com a sua capacidade máxima de reservação. Ou seja, calcula-se a lâmina gerada, que é transformada em volume de captação de água da chuva pelo telhado verde.

Em retrospectiva aos eventos anteriores, períodos curtos de intervalos intereventos não refletem necessariamente em elevadas taxas de escoamento, uma vez que a intensidade média das chuvas pode influenciar significativamente na geração das lâminas equivalentes. A partir dos dados de monitoramento de nível de reservação d’água do escoamento proporcionado pelo telhado verde, foi possível avaliar as características funcionais e o comportamento de cada uma dessas variáveis hidrológicas.

As características hidrológicas que inferem o escoamento sobre o telhado verde, devido a absorverem dinamicamente cada variável, devem ser avaliadas criteriosamente, pois são passíveis de interferências que podem comprometer os resultados. Deve-se levar em consideração, além das condições de umidade antecedente do solo, a intensidade pluviométrica no período. Mesmo em baixos índices de precipitação, podem ocorrer elevadas taxas de escoamento superficial ou de retenção pelo solo, devido às suas condições de saturação.

A seleção dos eventos a serem apresentados para o balanço de curto prazo, no período avaliado de setembro de 2006 a março de 2007, deve-se à significância ou à representatividade hidrológica do evento. Embora todos tenham suas características intrínsecas e particulares a curto prazo, mas de influência a longo prazo, os eventos analisados individualmente tendem a contribuir consideravelmente para conclusões a longo prazo.

Evento em 06/12/2006 e 07/12/2006

Considerando o evento com início às 18h24 em 6 de dezembro de 2006 e término à 1h39 do dia seguinte, observado na Figura 5.17, estima-se uma duração aproximada do evento de 255 minutos. A intensidade média de 11 mm/h nesse período foi considerada intermediária ($10 \text{ mm/h} < i \leq 30 \text{ mm/h}$). Devido à precipitação do evento anterior, ocorrido a partir das 3h05 de 6 de dezembro de 2006 até 3h49 do mesmo dia e com intensidade de aproximadamente 8 mm/h, o tempo de concentração ou de resposta para o início do escoamento foi curto, sendo estimado em 24 minutos. O volume escoado para esse período de curto prazo atingiu aproximadamente 200 litros ou 0,2 m³. As perdas iniciais e a infiltração estão representadas por *Retenção*.

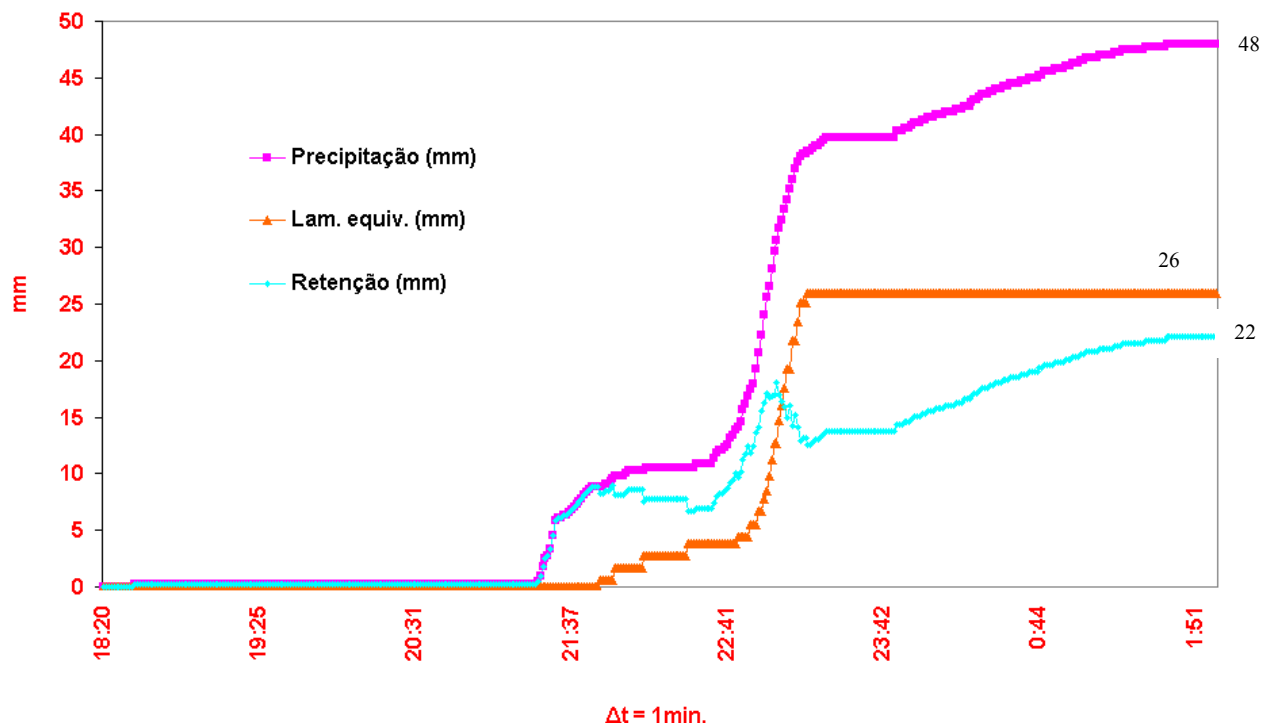


Figura 5.17 - Eventos de curto prazo para o telhado verde entre 06/12/2006 e 07/12/2006.

Este evento registrou perdas iniciais de aproximadamente 9 mm antes do início do escoamento, observado em 26 mm para um intervalo de dados de discretização de 1 minuto.

Embora a Figura 5.17 possa ser constituída por dois eventos de curto prazo distintos, preferiu-se apresentar a composição de ambos em um único evento, a fim de se analisar o comportamento hidrológico de um sobre o outro, visto que o intervalo entre ambos foi considerado pequeno e menor do que 30 minutos.

Ao analisar as condições de umidade antecedente do solo para este período, observou-se que, a partir das 3h05, em 6 de dezembro de 2006, houve uma precipitação de duração de 44 minutos, com valor estimado em 5,5 mm. No entanto, o escoamento gerado foi aproximadamente 20% do valor precipitado, enquanto que, para o evento da Figura 5.15, foi de 54%.

Evento em 08/12/2006 e 09/12/2006

O gráfico da Figura 5.18 ilustra o balanço hídrico de curto prazo para o escoamento sobre o telhado verde entre 8 e 9 de dezembro de 2006. Com discretização dos dados em intervalos de 1 minuto, este período caracteriza-se pela distribuição de dois eventos individuais.

O evento iniciado às 22h56, em 8 de dezembro de 2006, e término à 1h33 do dia seguinte, obteve precipitação de 8 mm. Considerando que a intensidade pluviométrica foi baixa ($i \leq 10$ mm/h), o telhado verde praticamente armazenou o total precipitado, obtendo um coeficiente de escoamento aproximado de 0,13.

O evento posterior, iniciado às 12h49, em 9 de dezembro de 2006 e término às 18h04 do mesmo dia, *vide* Figura 5.16, obteve coeficiente de escoamento de 0,45, decorrente da lâmina observada ser praticamente a metade do valor precipitado, que foi de 10 mm. Para este evento, obteve-se uma intensidade de quase 2 mm/h, enquanto que, para o evento noturno, em 8 de dezembro, obteve-se intensidade de 3 mm/h. As perdas iniciais e a infiltração estão representadas por *Retenção*.

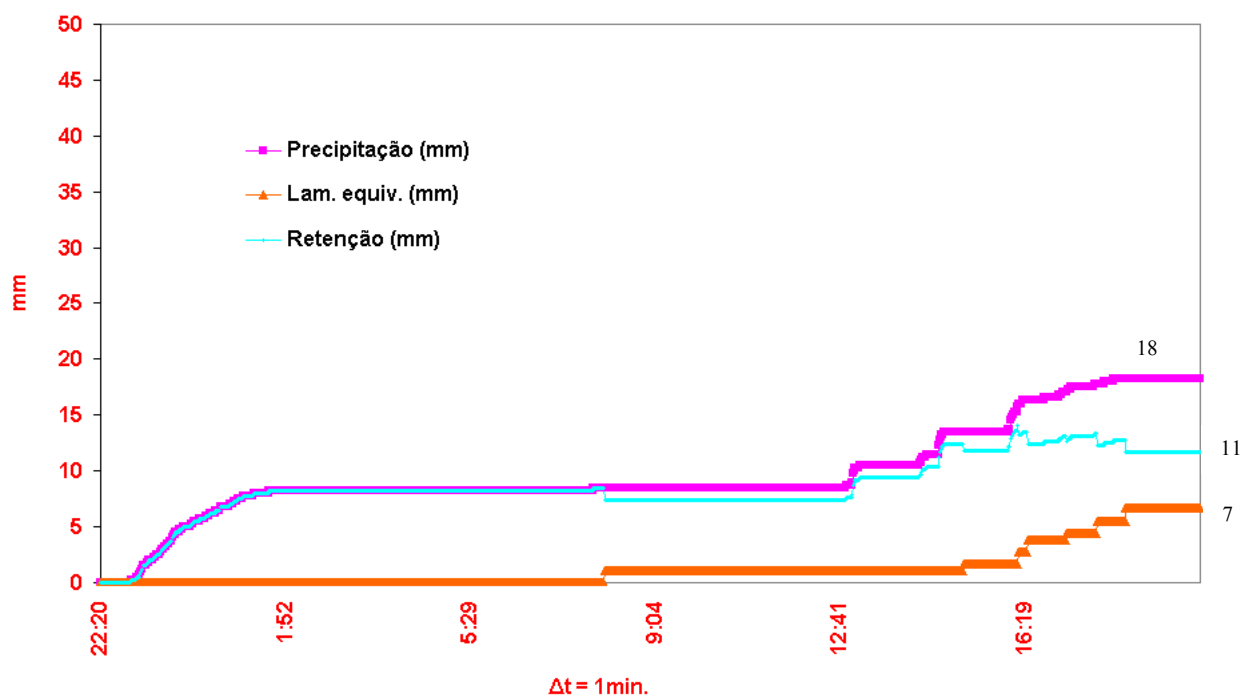


Figura 5.18 – Eventos de curto prazo para o telhado verde entre 08/12/2006 e 09/12/2006.

Na relação entre o tempo de concentração T_c e o intervalo intereventos correspondente, observa-se que, para esses eventos, decorreu uma maior concentração no tempo de armazenamento sobre o telhado verde, mesmo em curtos períodos sem chuvas. Em 8 de dezembro, considerando um intervalo “seco” de aproximadamente dois dias, o telhado verde suportou mais de 9 horas até o início do escoamento, em decorrência de uma baixa intensidade ($i \leq 10$ mm/h).

Para intensidades médias (10 mm/h $< i \leq 30$ mm/h) e intervalos curtos intereventos, o evento obteve tempo de concentração, em sua maioria, baixo ou inferior a 1 hora. O período antecedente sem chuvas maior ou igual a 5 dias, proporcionou tempo de permanência de água precipitada sobre o telhado verde inferior à meia hora.

Embora o intervalo interevento em 14 de dezembro de 2006 tenha sido alto ($IIE \geq 5$), observou-se que o tempo de permanência da água no solo do telhado verde até o início

do escoamento foi o mesmo obtido para o evento em 9 de dezembro de 2006, ou seja, de 2 horas, mesmo com o período sem chuvas menor que um dia.

Eventos em 20/12/2006

Com a precipitação total observada de aproximadamente 45 mm, o evento monitorado em 20 de dezembro de 2006, conforme Figura 5.19, obteve uma lâmina de escoamento equivalente a aproximadamente 31 mm. No entanto, ao discretizar esse evento total em dois eventos particulares, inferem-se lâminas equivalentes a 8 mm e 16 mm. A diferença entre as lâminas totais deve-se ao armazenamento inicial e às respectivas perdas. Às 10h44, o reservatório foi esvaziado, sem atingir a cota máxima de extravasamento. Os níveis e volumes de escoamento foram acumulados no tempo e correspondem à lâmina equivalente do escoamento superficial.

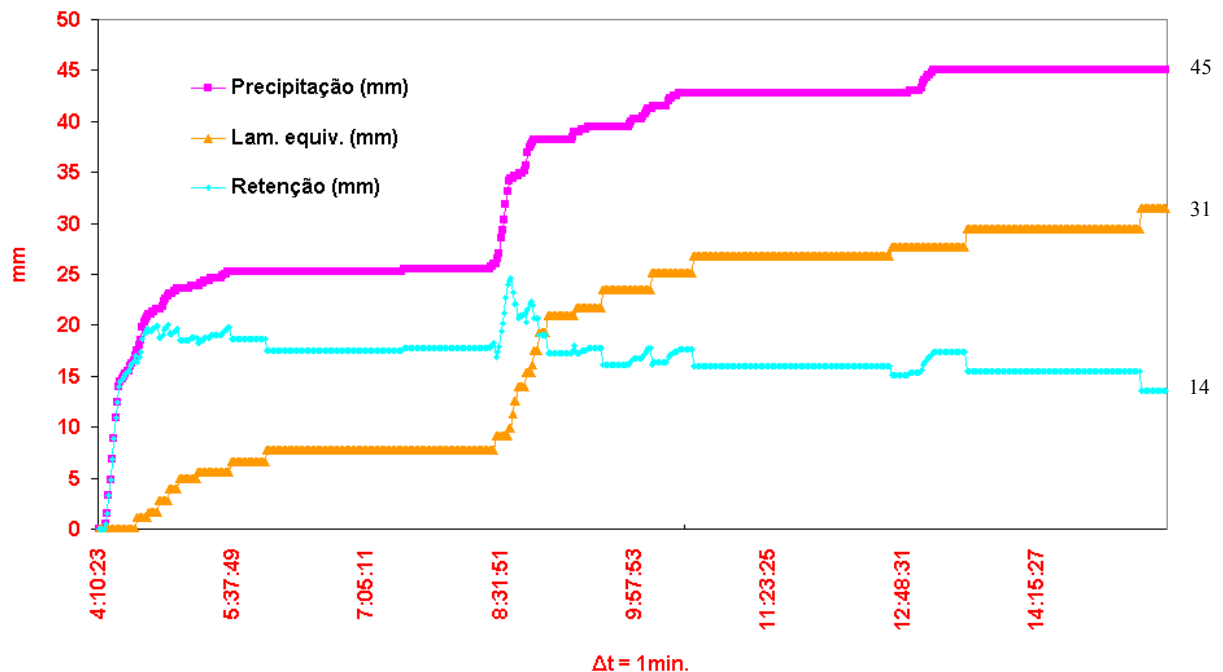


Figura 5.19 - Eventos de curto prazo para o telhado verde em 20/12/2006.

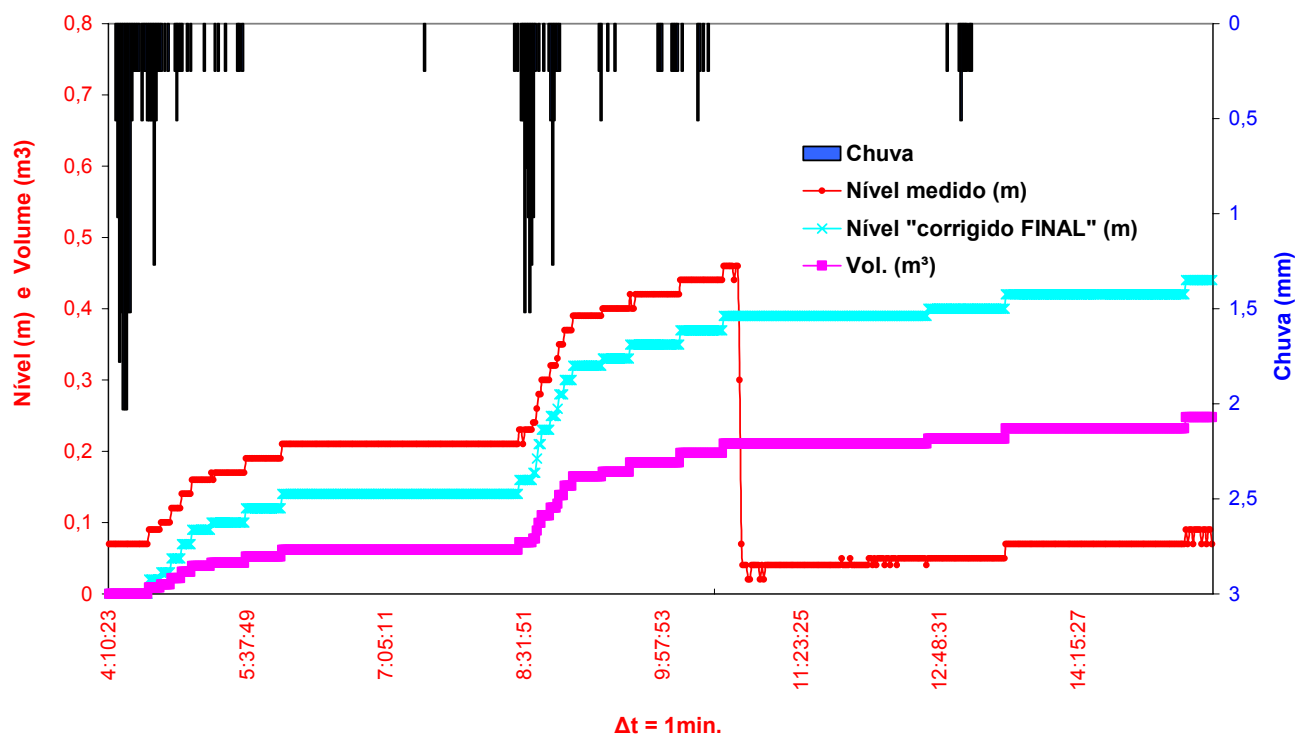


Figura 5.20 - Monitoramento observado do escoamento pluvial sobre o telhado verde em 20/12/2007.

A correção do nível observado na Figura 5.20 do evento da Figura 5.19 em 20 de dezembro de 2006 refere-se ao ajuste da medida inicial observada devido à cota mínima ou *offset* mínimo de altura d'água necessário para a leitura das medidas, estimada em aproximadamente 7 cm. O intervalo de discretização do evento foi de 1 minuto, com duração média de 200 minutos de precipitação. Às 10h43, a partir do decaimento do nível medido, foi realizado um esvaziamento do reservatório. Os ajustes nas medições observadas neste evento não indicaram extravasamento pelo sifão-ladrão.

Evento em 18/01/2007

Em 18 de janeiro de 2007, o evento com intensidade de 6 mm/h, registrou uma taxa de 52% de escoamento do valor precipitado. Provavelmente, devido ao índice de precipitação antecedente, nos últimos cinco dias, ter sido relativamente alto, próximo de 50

mm, o tempo de permanência da água no solo do telhado verde foi considerado curto, sendo estimado em 15 minutos. A Figura 5.21 ilustra o comportamento do balanço hídrico para uma duração da chuva de 3h30.

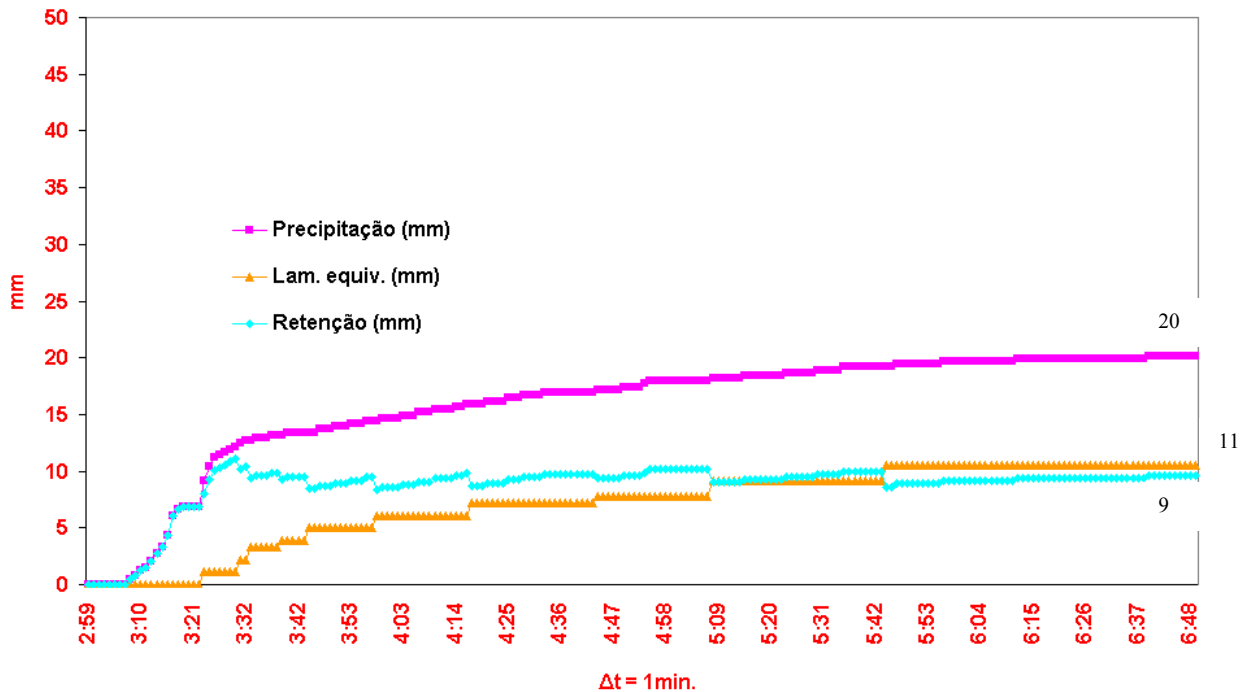


Figura 5.21 – Eventos de curto prazo para o telhado verde em 18/01/2007.

O balanço hídrico sobre o telhado verde requer uma análise da dinâmica dos processos hidrológicos. Sua constituição, embora muitas vezes aparentemente simples, requer uma análise dos diferentes mecanismos que envolvem o seu ambiente, como: as camadas superficiais do solo capazes de produzir o escoamento e a sua saturação, bem como a sua capacidade de armazenamento; os índices de precipitação etc.

Evento em 26/01/2007

Ao analisar o balanço hídrico do evento em 26 de janeiro de 2007, visto na Figura 5.22, verifica-se uma similaridade dos dados observados com o evento registrado em 6 e 7

de dezembro de 2006 (Figura 5.17). As tabelas 5.6 e 5.7 apresentam os resultados de ambos os eventos, considerando os dados observados de precipitação e de escoamento. Entende-se por IPA_5 o índice de precipitação antecedente nos últimos cinco dias, por IIE o intervalo interevento, ou seja, o período sem chuvas e por Ce o coeficiente de escoamento.

Tabela 5.6 – Dados observados de precipitação dos eventos #15 e #41

Registro		Precipitação						
Ev.	Data	Início (h:mim)	Fim (h:mim)	Δt (min)	P_{total} (mim)	i_{med} (mim/h)	IPA_5 (mim)	IIE (h:mim)
15	6/12/2006	6/12/06 21:24	7/12/06 01:39	255	48	11	36	02:52
41	26/1/2007	26/1/07 04:13	26/1/07 08:15	242	42	10	34	13:22

Tabela 5.7 – Dados observados de escoamento dos eventos #15 e #41

Registro		Escoamento				
Ev.	Data	Início (h:mim)	Fim (h:mim)	Δt (min)	$P_{efet.}$ (mim)	Ce
15	6/12/2006	6/12/06 21:48	6/12/06 23:12	84	26	0,54
41	26/1/2007	26/1/07 06:13	26/1/07 07:50	97	15	0,35

As características de ambos os eventos indicam semelhanças nos dados observados, exceto para o escoamento, que é maior no evento #15 registrado em 6 de dezembro de 2006. Embora os valores de IPA_5 também sejam muito próximos, os valores não similares do Ce justificam-se pelas diferenças encontradas no IIE . Ou seja, o evento #41 estava com o solo relativamente menos saturado do que o evento #15 e, portanto, capaz de proporcionar uma menor quantidade na geração do escoamento. Vale ressaltar que esta quantidade de escoamento gerada não deve ser tratada exclusivamente como sendo “escoamento superficial”, mas sim o volume escoado após o a infiltração pelo solo.

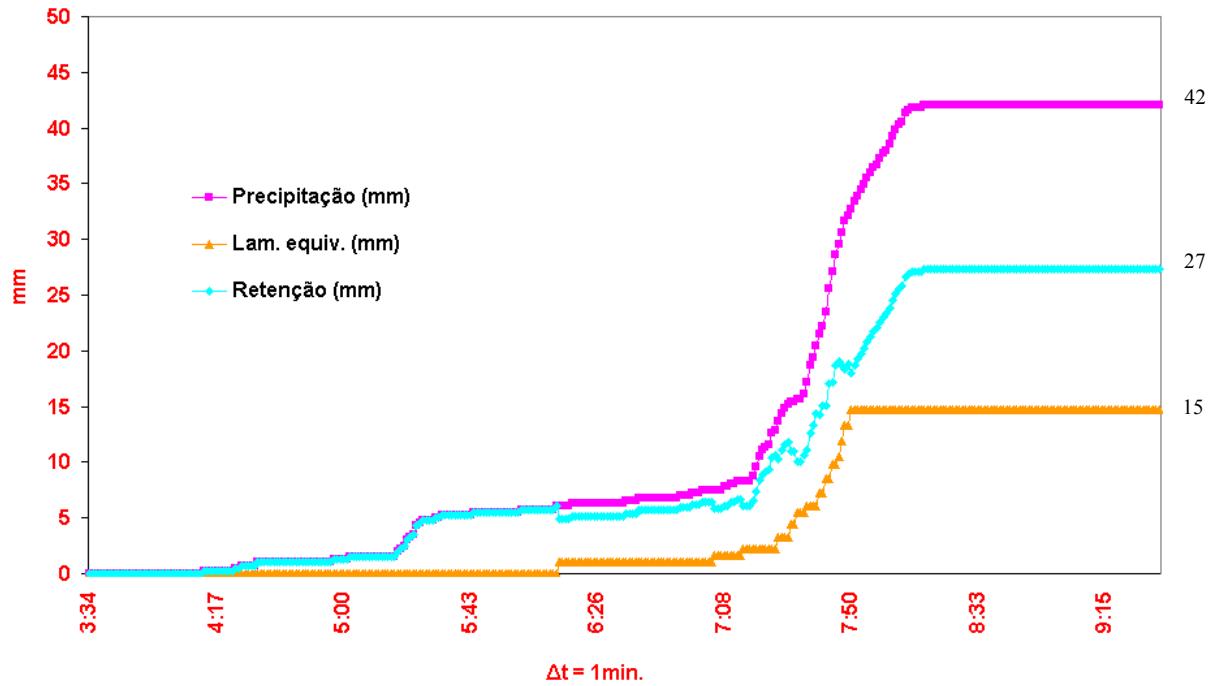


Figura 5.22 – Eventos de curto prazo para o telhado verde em 26/01/2007.

Ambos eventos apresentados acima retratam as condições estabelecidas pelo mecanismo de geração de escoamento a partir de Beven (1986). As influências dos diversos processos que dominam a geração do escoamento, no caso particular o telhado verde, podem alterar os caminhos preferenciais das águas (MENDIONDO, 1997), uma vez que as hipóteses assumidas refletem uma verticalidade de funções, principalmente nas variáveis de entrada e de saída.

Evento em 18/03/2007

Em 18 de março de 2007, conforme Figura 5.23, a estação obteve uma precipitação observada de 50,4 mm, considerada a maior de todo o período de análise. Da mesma forma, a lâmina de escoamento equivalente, ou precipitação efetiva, também foi considerada a mais alta de todos os eventos selecionados, atingindo até 32,5 mm e

proporcionando um coeficiente de escoamento elevado de 0,64. Este valor está acima dos limites de referência, principalmente devido ao IPA_5 ter sido alto ($IPA_5 > 40$ mm) e o IIE curto ($IIE < 12$ h). Com uma duração de aproximadamente 12 horas, a intensidade assumida foi baixa ($i < 10$ mm/h).

Os reflexos do meio saturado, neste evento, demonstram que o fluxo de água através do solo foi alto, considerando os níveis de lâminas atingidos durante a tormenta. O incremento da precipitação, após a saturação, indica um deslocamento crescente dos volumes de água retidos no solo. Este mecanismo decorre também devido à declividade do telhado verde e à coleta do volume excedente pelos seus respectivos condutores de saída.

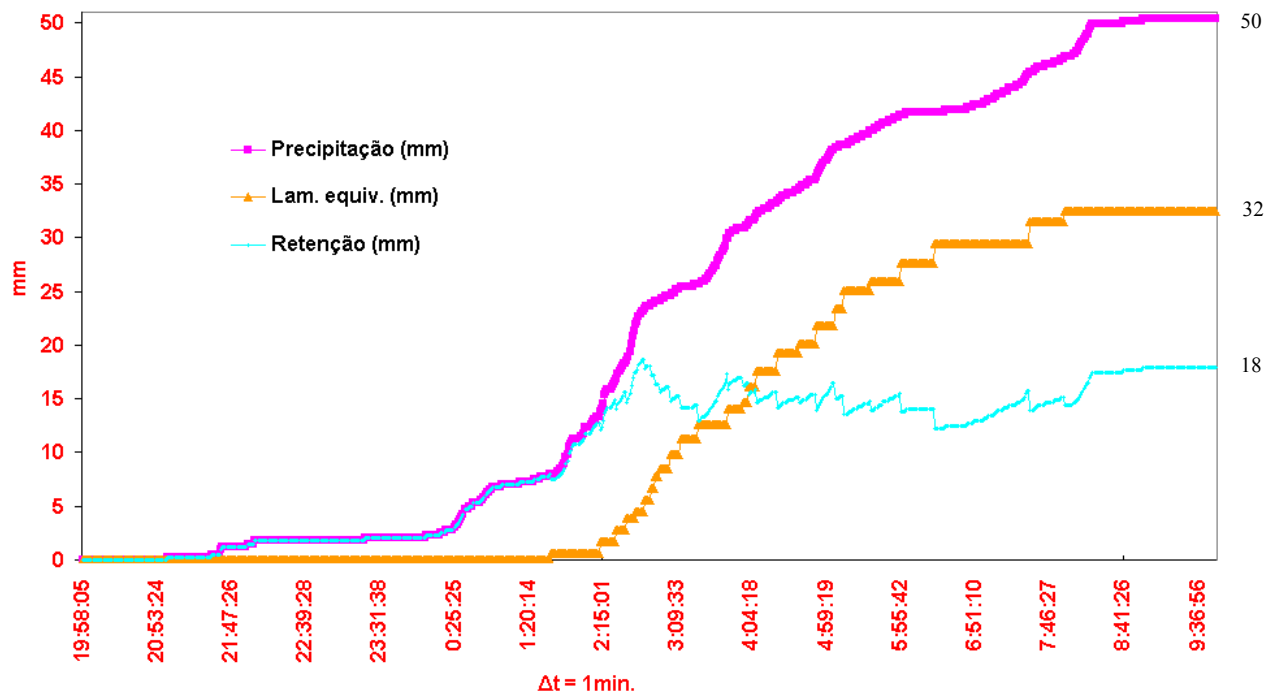


Figura 5.23 – Eventos de curto prazo para o telhado verde em 18/03/2007.

Considerando todos os eventos observados entre setembro de 2006 e março de 2007 e, discretizando-os em períodos de curto prazo ($t < 2$ dias), estimou-se o coeficiente de escoamento C_e para o telhado verde. As precipitações efetivas Pe_{total} são aquelas em que se obteve a lâmina equivalente gerada pelo escoamento sobre o telhado verde, e P_{total} é

a precipitação total observada pela estação para os eventos selecionados durante o monitoramento do período.

A Figura 5.24 determina o valor do coeficiente de escoamento do telhado verde para os eventos com balanço hídrico de curto prazo. Ao todo, a relação considera 52 eventos, dos quais quatro não geram escoamento e dois têm vazão excedente. Ao excluir estes valores na linearidade da função, a variação da permeabilidade do solo sobre o telhado verde é pequena e inferior a 0,2%, e, portanto, foi considerada irrelevante a descontinuidade desses eventos.

No entanto, deve-se ressaltar que os dados representam um cenário relativamente restrito, uma vez que foi considerada apenas a maioria das precipitações totais daqueles eventos que geraram escoamento considerável. Não consta o total precipitado no período entre setembro de 2006 e março de 2007, ou seja, alguns eventos com retenção. É por este motivo, entre outros, que o valor obtido de 0,48 foi considerado alto conforme as referências citadas.

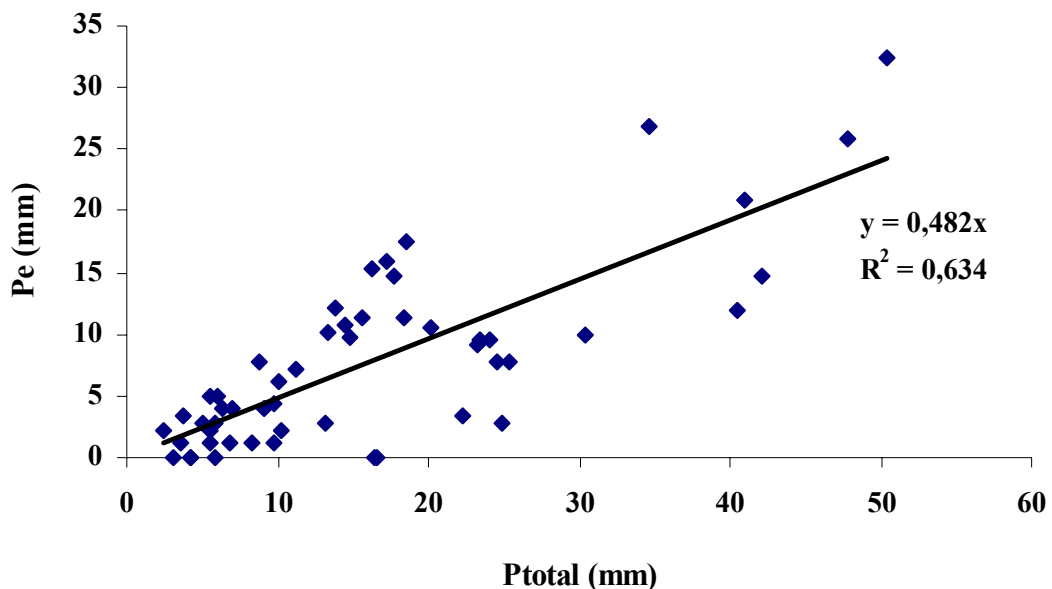


Figura 5.24 – Coeficiente de escoamento sobre o telhado verde a partir da precipitação observada pelos eventos analisados de curto prazo.

Durante o período selecionado para análise dos dados observados, o mês de janeiro de 2007, tipicamente, foi considerado o mês corrente de maiores precipitações intensas na área de estudo, totalizando aproximadamente 450 mm de chuvas. A partir deste valor, foram discretizados, ao selecionar os eventos para compor o balanço hídrico sobre o telhado verde, um total de 325 mm de precipitação, correspondentes, principalmente, àqueles com geração de escoamento. A diferença não escoada, estimada em 125 mm, reflete o potencial de armazenamento do solo sobre o telhado verde para o período correspondente, associado às suas respectivas perdas iniciais.

Todos os valores observados foram concentrados mensalmente e compreendem dados estatísticos, apresentados em detalhes na Tabela 5.8. Entende-se I_a por perdas iniciais e IIE por intervalos intereventos sem chuvas. Enquanto Ce_{total} corresponde ao coeficiente de escoamento sazonal, considerando todos os índices de precipitação observados, Ce_{evento} corresponde ao coeficiente de escoamento sazonal, considerando apenas os índices de precipitação dos eventos selecionados para as análises de reservação. Ret_{obs} entende-se como a retenção observada e pode ser considerada como a somatória das perdas iniciais com a infiltração no solo do telhado verde. Estes valores foram assumidos como hipótese para o cálculo do balanço hídrico, como sendo o valor estimado para o armazenamento de água no solo.

Em alguns eventos, e conseqüentemente nos dados acumulados de alguns meses, a infiltração foi estimada como negativa, o que reflete uma condição do meio saturado antecedente aos índices de precipitação ou um atraso na medição dos níveis observados pelo linígrafo. O resultado do escoamento subsuperficial, nesses casos, foi mascarado pelo deslocamento de água excedente em direção à parte mais baixa do telhado verde, contribuindo nas medições de níveis pelo equipamento instalado no reservatório de acumulação.

Tabela 5.8 – Resumo dos dados observados e acumulados no mês para o telhado verde

	P_{total} (mm)	P_{evento} (mm)	$P_{efet.}$ (mm)	Ce_{total}	Ce_{evento}	I_a (mm)	$Ret_{obs.}$ (mm)	IIE (horas-dec)
Set./06	30,0	30,0	2,2	0,07	0,07	25,0	27,8	146,00
Out./06	127,8	69,6	30,7	0,24	0,44	32,9	39,0	64,83
Nov./06	166,6	71,8	16,0	0,10	0,22	42,4	55,8	274,83
Dez./06	246,4	160,8	63,4	0,26	0,39	77,8	97,4	203,82
Jan./07	453,7	324,3	194,1	0,43	0,60	111,6	130,2	98,93
Fev./07	239,6	132,7	63,7	0,27	0,48	79,1	68,6	130,05
Mar./07	148,8	50,4	32,5	0,22	0,64	8,0	17,9	4,85
TOTAL	1.413,0	839,2	402,5			376,7	436,7	923,32

A Figura 5.25 representa a correção do coeficiente de escoamento sazonal, obtida pelos valores da Tabela 5.8. Este resultado indica uma condição da capacidade de armazenamento no solo superior àquela observada pelo monitoramento. Do total precipitado em todo o período de análise, estima-se uma retenção não observada de 570 mm. Considerando este valor, a capacidade total de armazenamento de água no solo sobre o telhado verde indica que aproximadamente 70% do volume precipitado ficou retido, o que inclui: as perdas iniciais e/ou a própria capacidade de retenção pelo solo ou a infiltração. Assumiu-se $ETR = 0$ para o balanço hídrico dos eventos de curto prazo.

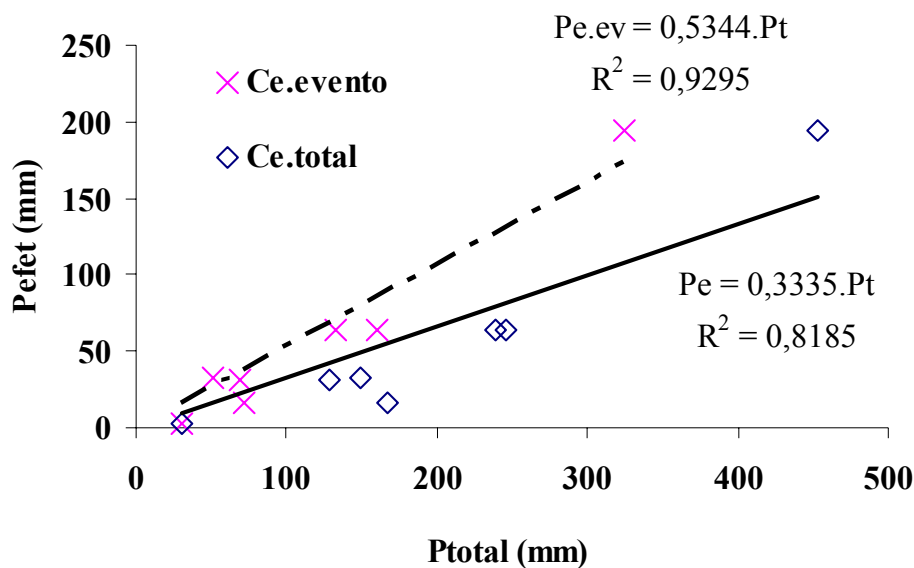


Figura 5.25 – Correção do coeficiente de escoamento sazonal do telhado verde a partir da precipitação total observada.

Embora sazonal, a representatividade hidrológica do coeficiente de escoamento corrigido para 0,33 foi considerada dentro dos limites estabelecidos pela literatura.

A presença do telhado verde instalado no lote, com as suas devidas características acerca do local de implantação, contribuiu na retenção do volume de escoamento sobre aquela área específica do lote. Ao eliminar esta medida, os volumes retidos seriam rapidamente escoados para fora do lote. Como há uma movimentação lenta do escoamento interno subsuperficial sobre o telhado verde que produz uma determinada vazão de saída, a retenção gerada auxilia na distribuição dos volumes d'água retardando o escoamento para a microdrenagem.

A eficiência da retenção hídrica pelo solo sobre o telhado verde em relação a um telhado convencional, considerando este com geração de 90% de precipitação efetiva em relação à precipitação total, pode ser estimada a partir da Equação 5.6 e da Figura 5.26. O cálculo expressa que o telhado verde é 56% mais eficiente na retenção hídrica em resposta ao telhado convencional.

$$E_rTV(\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\beta}{\theta}\right) \quad (5.6)$$

E_rTV = eficiência na retenção hídrica do telhado verde;

θ = ângulo correspondente ao Ce do telhado convencional;

β = ângulo correspondente ao Ce do telhado verde;

$P_{TC.SC}$ = precipitação efetiva no telhado convencional sem controle;

$P_{TV.CC}$ = precipitação efetiva no telhado verde com controle; e

P_t = precipitação total.

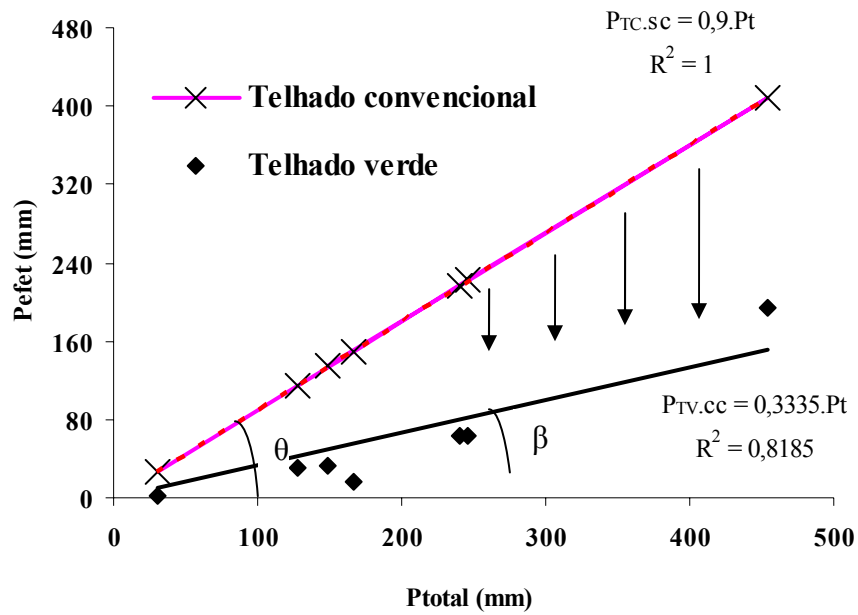


Figura 5.26 – Eficiência na retenção hídrica do telhado verde em relação ao telhado convencional.

A representação da infiltração F mais as perdas iniciais Ia está graficamente ilustrada na Figura 5.27, que contempla o limite da precipitação acumulada. Ao todo, foram distribuídos 52 eventos, entre alguns agregados. Foram selecionados os eventos de maior representatividade hidrológica, totalizando 840 mm de precipitação e 440 mm de infiltração somadas às perdas iniciais.

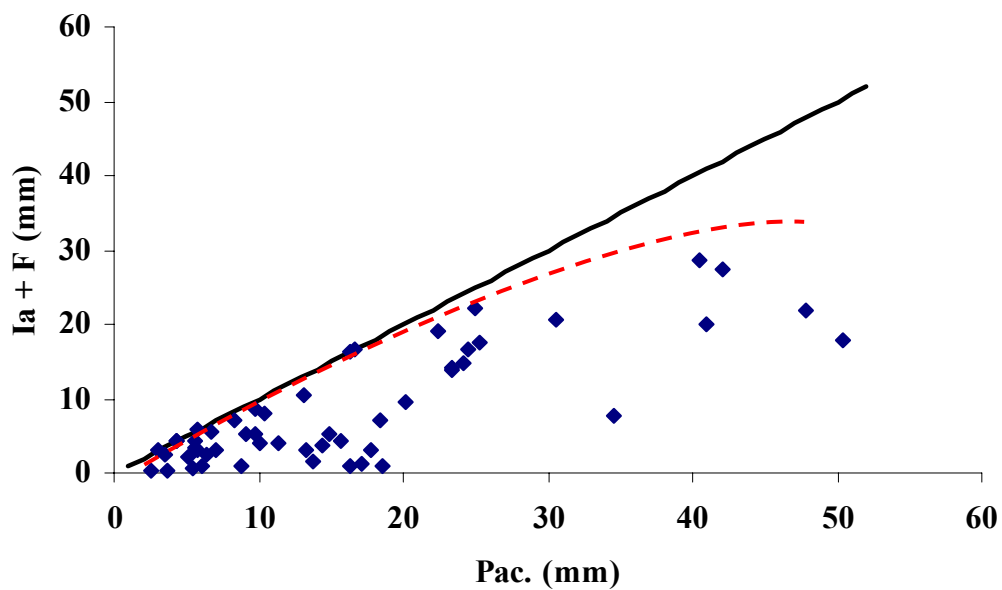


Figura 5.27 – Função da precipitação acumulada para os eventos sobre o telhado verde. O limite de $(F + Ia)$ é representado pela curva tracejada.

5.2.3. Qualidade térmica do escoamento acumulado no telhado verde

Ao monitorar a qualidade térmica da água que escoou sobre o telhado verde, foram obtidos gráficos que indicaram a capacidade de manutenção da temperatura da água, tanto nos dias quentes ($T \geq 22$ °C), como nos dias frios ($T < 22$ °C). Essa característica pode ser avaliada em comparação com a variação da temperatura externa do ambiente, mesmo quando observadas as condições de mudança climática e de temperatura no período diário.

Em 20 de janeiro de 2007, entre 12h18 e 12h54, a variação da temperatura ambiente externa foi de aproximadamente 7 °C, enquanto que a variação da temperatura d'água do escoamento sobre o telhado verde foi de apenas 0,2 °C. As máximas atingidas para esse período foram 27,2 °C e 24,1 °C, respectivamente, para a temperatura ambiente e temperatura do escoamento.

Estimada em 89 minutos, a duração do evento em 2 de fevereiro de 2007 gerou uma variação de 8 °C em relação à temperatura ambiente, com mínima de 19,8 °C. As temperaturas do escoamento foram de 24,2 °C e 24,8 °C, correspondentes à mínima e à máxima temperatura, respectivamente.

O evento em 26 de fevereiro de 2007, com precipitação total de 9 mm em 73 minutos, gerou temperaturas variando entre 18 °C e 25 °C para o ambiente externo e 23 °C e 24 °C para a escoamento acumulado.

As figuras 5.28, 5.29 e 5.30 apresentam os resultados dos eventos descritos anteriormente, relacionando as características térmicas da água do volume escoado sobre o telhado verde e do ambiente externo.

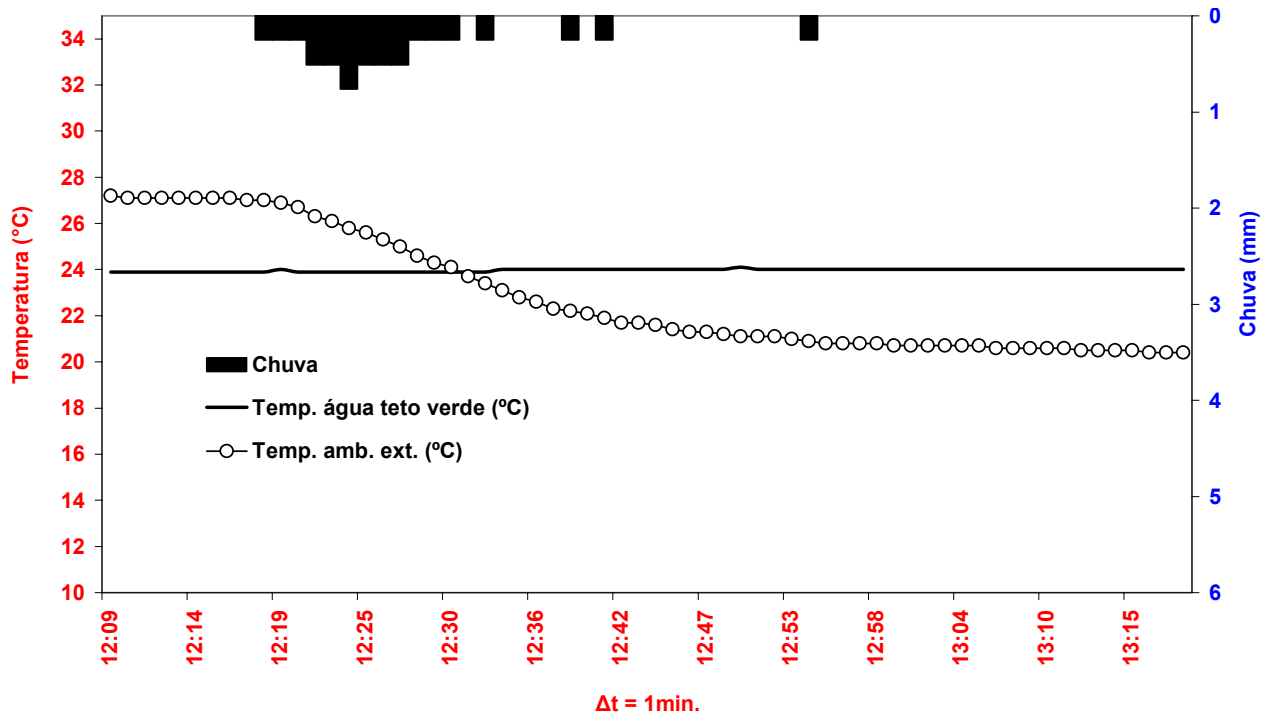


Figura 5.28 - Qualidade térmica da água de escoamento do telhado verde e do ambiente em 20/01/2007.

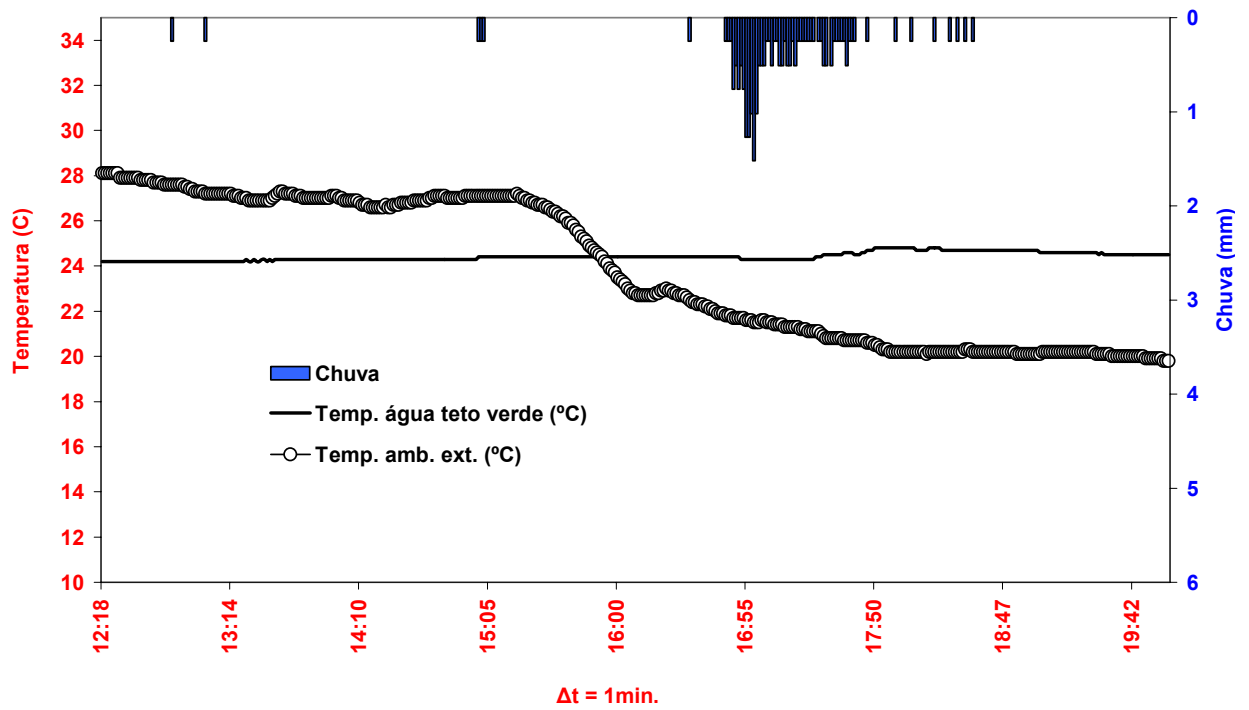


Figura 5.29 - Qualidade térmica da água de escoamento do telhado verde e do ambiente em 02/02/2007.

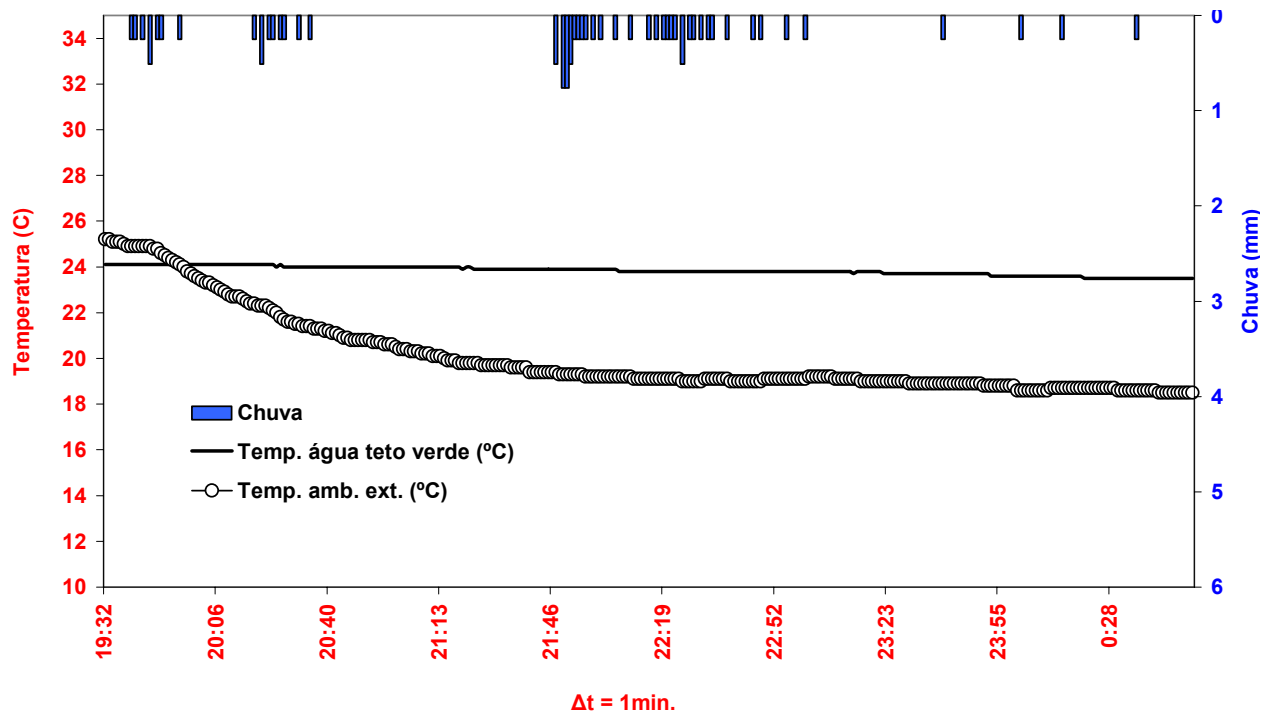


Figura 5.30 - Qualidade térmica da água de escoamento do telhado verde e do ambiente em 26/02/2007.

Na maioria dos dados observados, observou-se uma queda da temperatura ambiente, praticamente no instante inicial da precipitação. O telhado verde em análise, embora sua característica térmica tenha sido avaliada a partir do escoamento, manteve as condições térmicas do escoamento mesmo após o início das chuvas. Estas informações podem ser consideradas relevantes para uma avaliação das condições de regulação da temperatura no interior da edificação.

5.3. Monitoramento quantitativo e qualitativo do escoamento superficial e subsuperficial gerado pelo lote

As análises quali-quantitativas do escoamento sobre o lote, conforme os capítulos 4.7.5., “Instalação dos equipamentos de monitoramento na trincheira”, e 4.7.6., “Caixa de escoamento superficial”, foram caracterizadas pela medição de nível, tanto do escoamento

subsuperficial a partir dos poços 1 e 2 na trincheira de infiltração quanto pela variação de nível do escoamento superficial monitorado na caixa de escoamento na saída do lote.

5.3.1. Escoamento subterrâneo de recarga pelo poço profundo

O escoamento subterrâneo ao longo do poço profundo, monitorado temporariamente por um período de seis meses, gerou resultados variados. Os gráficos das figuras 5.31 e 5.32 apresentam os eventos correspondentes ao monitoramento realizado no Poço 1 profundo da trincheira de infiltração. O Poço 1, conforme a Figura 4.12, com profundidade estimada em 13 m e diâmetro de 0,10 m, visa estimar a recarga do aquífero a partir do escoamento superficial sobre as áreas permeáveis do lote e dos subsuperficiais a partir do escoamento lateral afluente à trincheira.

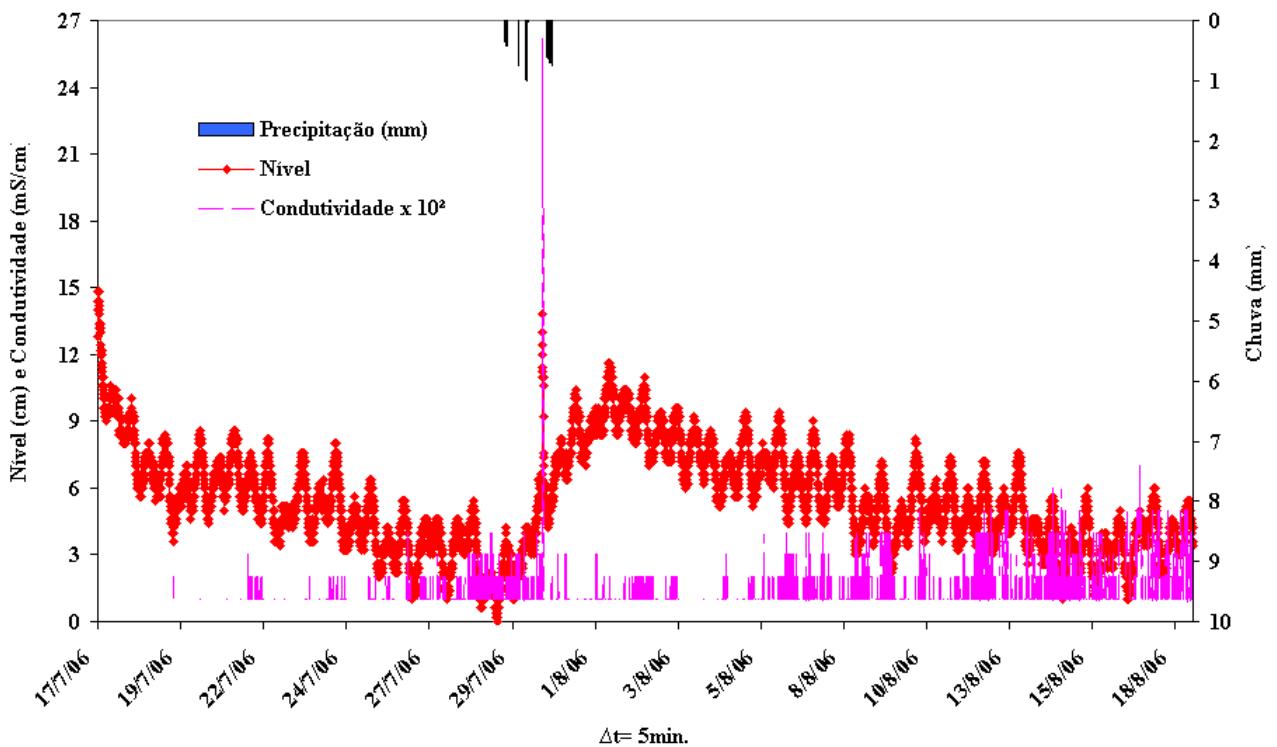


Figura 5.31 - Monitoramento quali-quantitativo do Poço 1 de recarga entre 07/2006 e 08/2006.

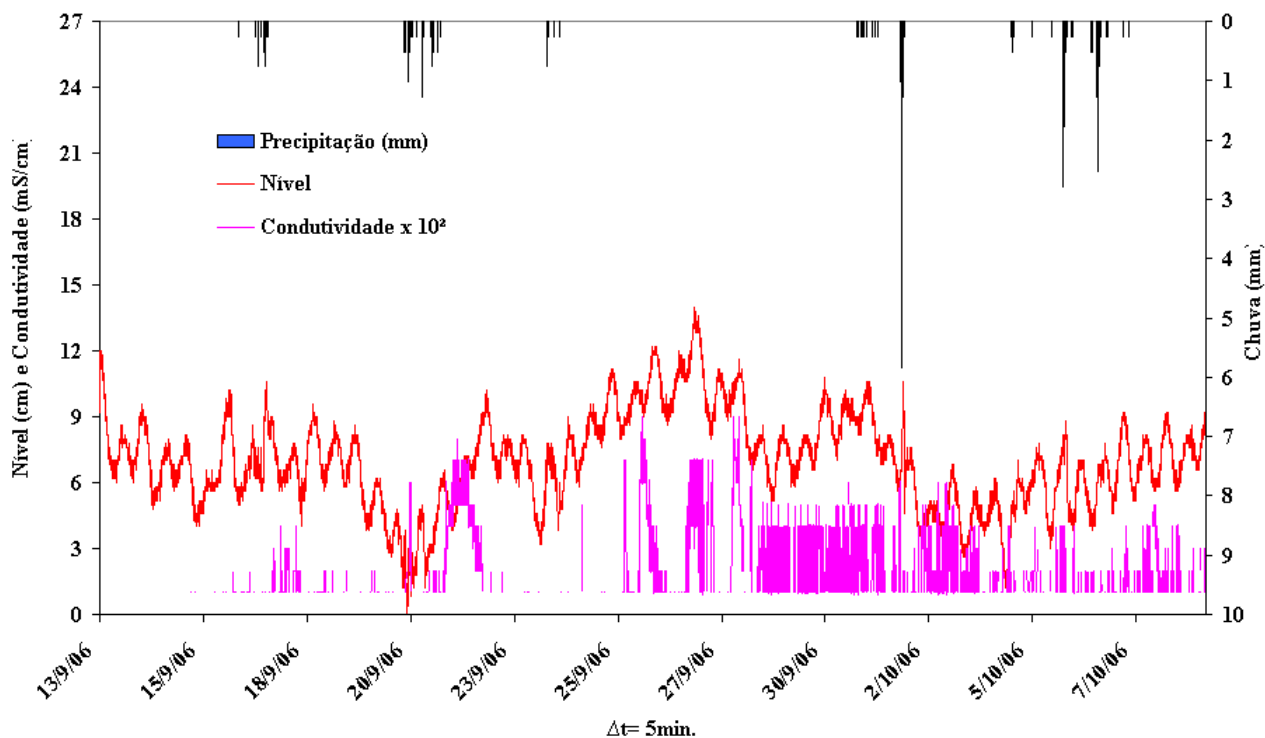


Figura 5.32 – Monitoramento quali-quantitativo do Poço 1 de recarga entre 09/2006 e 10/2006.

Considerando os níveis observados pelo linígrafo, o volume de recarga acumulado em ambos os períodos foi de aproximadamente $5,5 \text{ m}^3$. As variações de nível ao longo do período foram registradas em função das diferenças de pressão observadas pelo linígrafo. Embora o equipamento CTD Diver[®] compense as pressões atmosféricas através do auxílio do Barollogger, os resultados não demonstraram suficiência na compensação, tendo em vista a grande variabilidade das medições. Ressalta-se que ao monitorar instantaneamente o nível deste poço com réguas linimétricas de alcance profundo e aviso sonoro, não foram registrados níveis d'água em alguns dias do período considerado.

O intervalo de discretização dos eventos foi de 5 minutos, tendo como utilização o linígrafo automático CTD Diver[®], considerado tecnologicamente mais apto a efetuar o monitoramento devido às condições de profundidade, distância e pressão.

Entre 29 e 31 de julho de 2006, os dados apresentam-se na Figura 5.33. O tempo de concentração para este evento foi estimado em aproximadamente 25 horas a partir de uma precipitação de 11,6 mm, com acúmulo de reservação d'água e recarga de 0,75 m³.

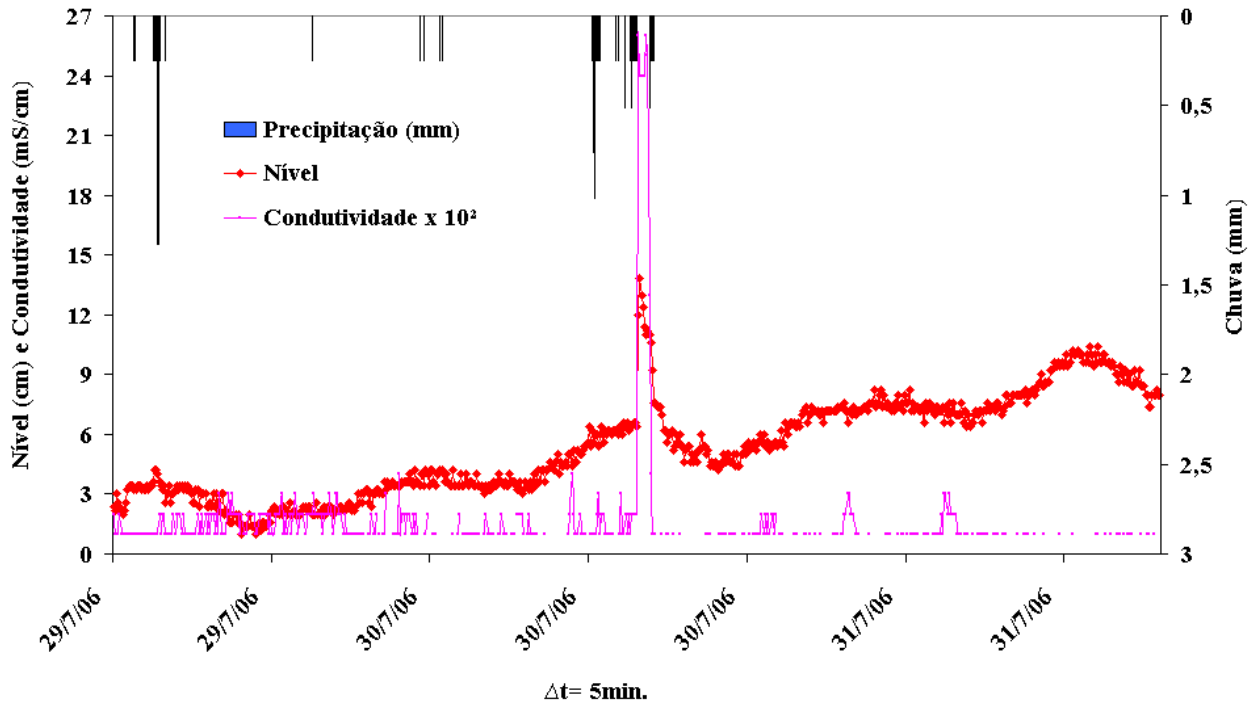


Figura 5.33 - Evento do Poço 1 de recarga entre 29/07/2006 e 31/07/2006.

A variação de pico do volume naquele instante teve duração estimada em 1h15. Este tempo foi considerado como sendo o tempo de permanência para a recarga do volume observado. A condutividade elétrica no período reflete a elevada presença de íons dissolvidos na água. Embora não determinados especificamente os íons presentes na água, pode-se reconhecer que, para este evento, houve um aumento considerável na condutividade elétrica e, mesmo sendo relativamente baixo, é um valor que indica o potencial de contaminação do solo e/ou da água na sua recarga.

5.3.2. Escoamento superficial e subsuperficial pela trincheira de infiltração

A lâmina equivalente do escoamento superficial e subsuperficial obteve contribuição das áreas impermeáveis e permeáveis do lote, conforme a Figura 4.11 apresentada anteriormente. Superficialmente, o escoamento para a caixa de drenagem ou de saída do lote foi proveniente da área do telhado da edificação principal e da drenagem do muro lateral ao vizinho no sentido sul, com área de aproximadamente 84 m². Subsuperficialmente, ou seja, o escoamento em direção à trincheira de infiltração, houve uma contribuição de aproximadamente 160 m² de área.

Ao todo, foram avaliados 128 eventos, compostos por intensidades médias entre 1 e 75 mm/h. O período de monitoramento analisado foi entre novembro de 2006 e março de 2007, sendo selecionado pela demanda do período hidrológico e pela situação do projeto, devido, principalmente, às condições de instalação das medidas, do monitoramento e da segurança dos equipamentos utilizados no lote. Durante este período, alguns eventos de precipitação que não geraram escoamento, tanto superficial quanto subsuperficial, não foram considerados, embora tenham sido objetos de análise na somatória dos eventos ocorridos durante o período.

O intervalo de discretização dos eventos analisados, tanto para o monitoramento quali-quantitativo como para os dados meteorológicos, foi determinado inicialmente em 5 minutos, sendo revisado posteriormente em 1 minuto. Os dados referem-se ao escoamento superficial monitorado na caixa de saída do lote, localizado na sua cota inferior, que coleta as águas provenientes do telhado da edificação principal e do muro lateral. A tubulação direcionada para a caixa do escoamento superficial foi anteriormente enterrada, atravessando longitudinalmente a trincheira de infiltração. Conforme caracterizado em capítulos anteriores, o mecanismo de transferência para o escoamento subsuperficial foi

dado por pequenos furos atravessados ao longo da tubulação (2 Ø4”), que tiveram a função de permitir a infiltração das águas pluviais para o interior da trincheira.

Qualitativamente, o escoamento superficial foi monitorado, tendo como resultados a condutividade elétrica e a temperatura. Subsuperficialmente, o monitoramento a partir do Poço 2 da trincheira foi realizado pelo linígrafo automático, que registra apenas os dados quantitativos.

Evento em 19/11/2006

Em 19 de novembro de 2006 o evento registrou uma precipitação de aproximadamente 49 mm, com nível máximo de até 0,34 m na caixa de saída do lote para o escoamento superficial e de aproximadamente 0,50 m de altura no Poço 2 da trincheira de infiltração. O gráfico da Figura 5.34 registra, com as diferenças de cota de fundo entre os pontos de monitoramento, as variações de nível observadas em 19 de novembro de 2006 pelos linígrafos, decorrente da precipitação observada pela estação meteorológica instalada no lote.

Para todos os eventos, o intervalo de discretização foi de 1 minuto, tanto para a estação meteorológica quanto para os equipamentos instalados nas medidas de reservação.

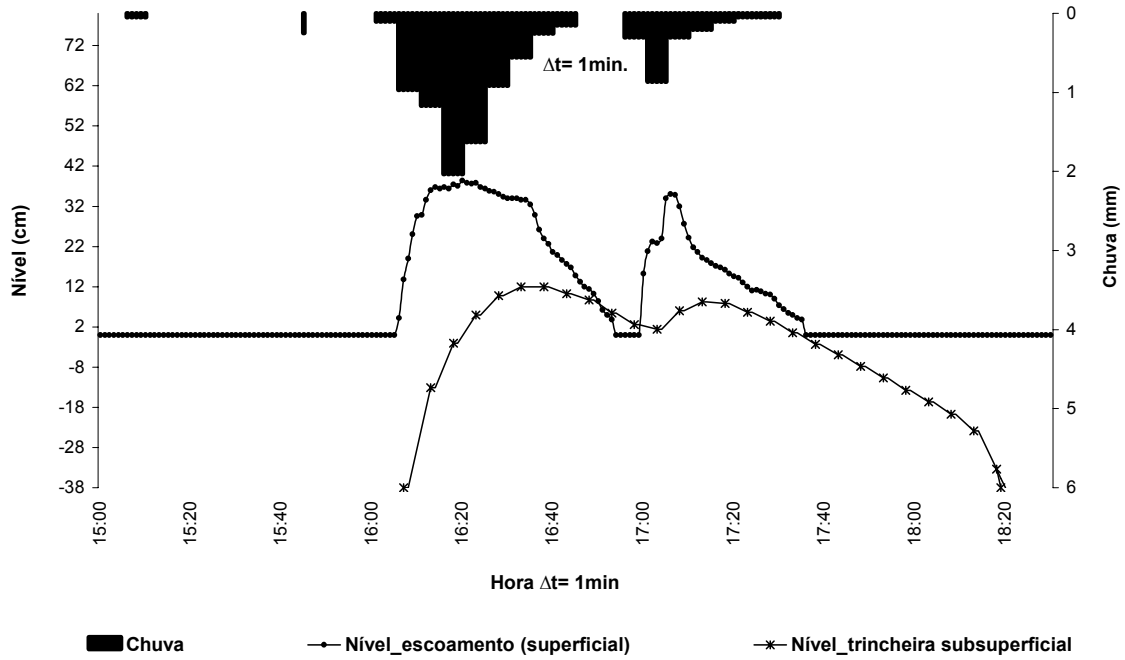


Figura 5.34 – Monitoramento quantitativo do escoamento superficial e subsuperficial em 19/11/2006.

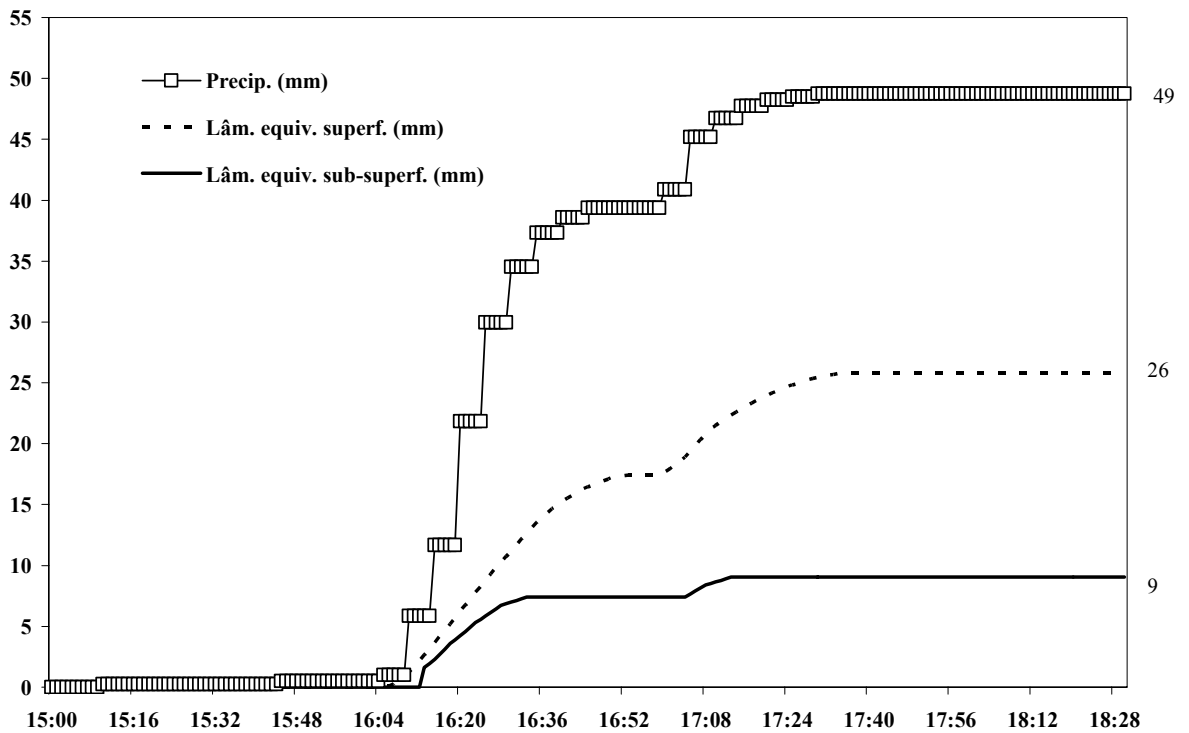


Figura 5.35 – Lâminas de precipitação e do escoamento gerado pelo lote em 19/11/2006.

A Figura 5.35 ilustra o comportamento relativo ao mesmo evento em 19 de novembro de 2006, com uma vazão superficial acumulada excedente de 26 mm e tendo como infiltração um escoamento subsuperficial de 5 mm correspondente ao acúmulo d'água na porção inferior da trincheira, devido à sua declividade acentuada.

Qualitativamente, o comportamento térmico e de capacidade de condutividade elétrica observada pelo monitoramento do escoamento superficial estão representados na Figura 5.36 adiante. A variação da temperatura das águas superficiais, desde o início da precipitação, foi de aproximadamente 11°C. A condutividade elétrica ao longo do período pluvial obteve máxima de 0,05µs/cm.

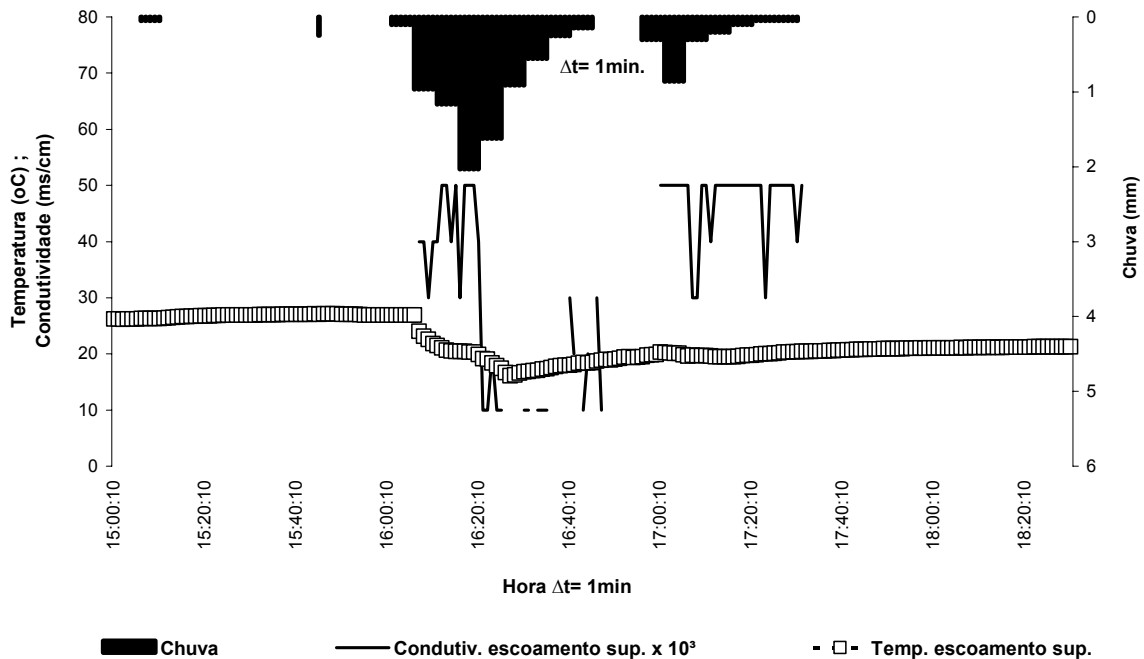


Figura 5.36 – Monitoramento qualitativo do escoamento superficial em 19/11/2006.

A precipitação efetiva calculada não leva em consideração as perdas associadas ao vazamento de água devido à comporta instalada na caixa de passagem na saída do lote permitir a liberação temporária da água acumulada. Conforme já descrito no Capítulo 4.7.6., “Caixa de escoamento superficial”, o sistema comporta acúmulo d'água provisório

com escoamento superficial monitorado em função dos níveis e das dimensões da caixa que, em projeto, não havia sido dimensionada para tal função. Portanto, a lâmina equivalente superficial deve ser estimada considerando as perdas associadas para este cálculo, que pode ser definido após simulação de chuva e monitoramento de vazão na caixa de saída do lote.

Na determinação do volume afluyente deste evento em 19 de novembro de 2006, foram consideradas as seguintes áreas: edificação a construir $A_2 = 39 \text{ m}^2$ e coeficiente de escoamento correspondente $C_{e2} = 0,9$; e gramado com parcela $A_3 = 121 \text{ m}^2$ e coeficiente $C_{e3} = 0,15$.

O cálculo para a determinação do volume infiltrado considerou o tempo de concentração em 5 minutos, ou seja, como sendo o valor calculado a partir da diferença de tempo estimado entre o volume afluyente e o volume de armazenamento, após 5 minutos.

O volume de armazenamento considera, a partir da Equação 3.13 apresentada anteriormente, uma declividade da trincheira de 3%. As dimensões da trincheira foram calculadas no Capítulo 4.6.3., “Resultados do dimensionamento da trincheira de infiltração visando a elaboração do projeto executivo com monitoramento”, assim como a porosidade ϕ_b da brita utilizada de 0,45. Para o cálculo deste volume também foram consideradas as alturas do nível d’água ao longo da trincheira como sendo aquelas observadas pelo monitoramento.

A Figura 5.37 ilustra os volumes acumulados e de armazenamento na trincheira em 19 de novembro de 2006. O volume máximo acumulado de entrada na trincheira neste dia foi de $2,6 \text{ m}^3$, sendo igualmente atingido pelo volume de infiltração. Ambos os volumes, afluyente e efluyente, são equivalentes devido às condições impostas para a determinação da porção infiltrante. A parcela obtida do volume efluyente ou de infiltração “negativo” deve-se provavelmente:

- a) ao tempo de concentração do escoamento ser superior ao ocorrido;
- b) à estimativa equacionada pelo volume de armazenamento ser superior ao previsto pelo monitoramento; e
- c) às áreas de contribuição menores e/ou ao coeficiente de escoamento adotados serem menores do que o projetado.

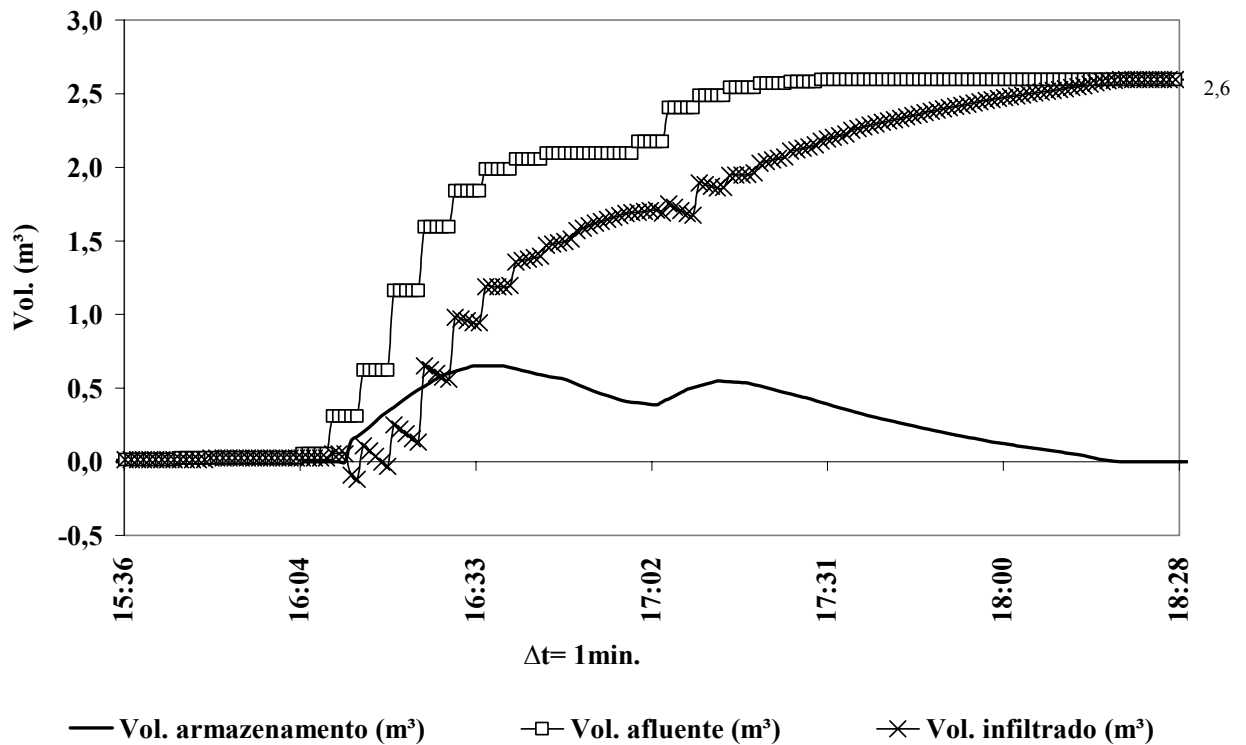


Figura 5.37 - Volumes amortizados pela trincheira de infiltração em 19/11/2006.

Pressupõe-se também, adicionalmente, que, dependendo das condições de umidade antecedentes, a infiltração na trincheira pode ter sido proveniente de “volumes pré-existent” ou de saturação do solo não estimada pela precipitação observada.

O evento em 19 de novembro de 2006 registrou intensidade estimada em 34,4 mm/h, considerada como sendo de intensidade alta ($i > 30 \text{ mm/h}$) em relação aos eventos

analisados e com duração da precipitação Δt de 85 minutos. A precipitação acumulada deste evento foi considerada a maior de todos os eventos analisados.

Evento em 25/11/2006

Em 25 de novembro de 2006, a intensidade do evento registrou 75,6 mm/h. Com uma precipitação acumulada de 30 mm, este dado obteve registro de altura máxima do escoamento superficial na caixa de monitoramento na saída do lote, com aproximadamente 0,34 m. O escoamento pela trincheira atingiu níveis de 0,06 m acima da cota inferior da caixa de saída, ou seja, 0,44 m de nível na cota inferior do Poço 2 de monitoramento, conforme a Figura 5.38.

A variação da temperatura registrada pelo linígrafo foi de aproximadamente 6 °C, observados imediatamente no início da geração do escoamento superficial. Ao final do evento obteve-se aproximadamente 20 °C. A condutividade elétrica foi observada no mesmo instante, com valores de 0,04 $\mu\text{s}/\text{cm}$, não refletindo ao longo do evento.

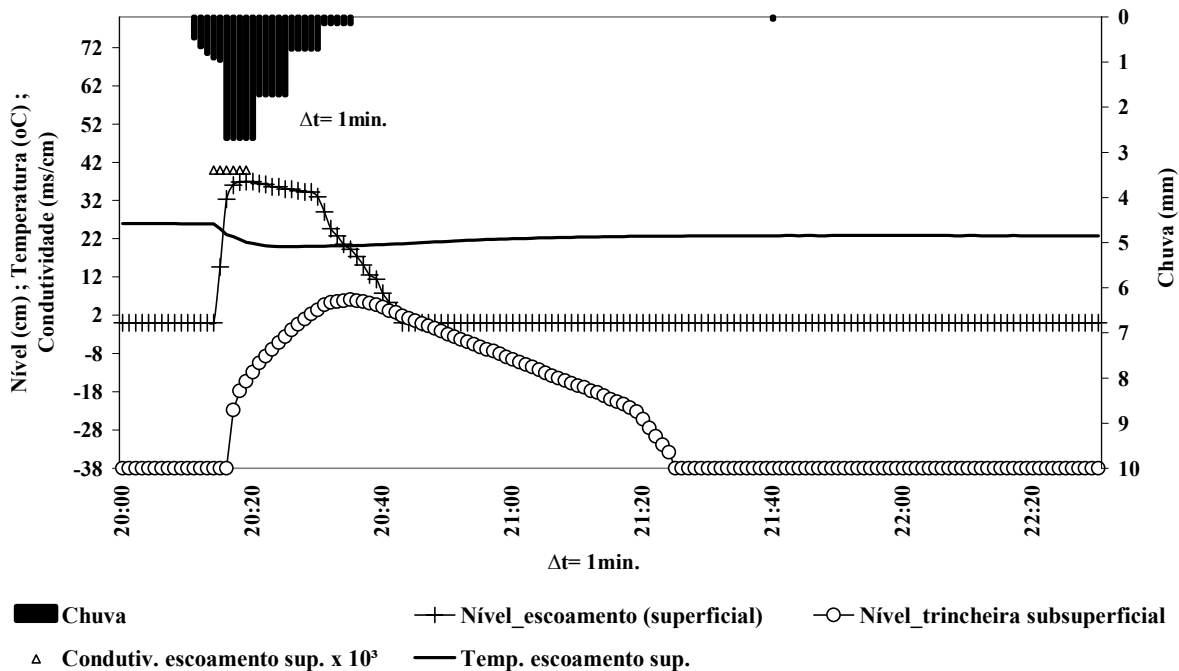


Figura 5.38 - Monitoramento quali-quantitativo do escoamento superficial e subsuperficial em 25/11/2006.

Embora com intensidade de chuva maior do que o evento apresentado anteriormente, observa-se pela Figura 5.39 que as lâminas geradas pelo evento em 25 de novembro de 2007 foram menores. Para esta data, o escoamento superficial atingiu uma lâmina equivalente a 10 mm. Após aproximadamente 2 minutos, teve início o escoamento pela trincheira, com lâmina pouco superior a 3 mm.

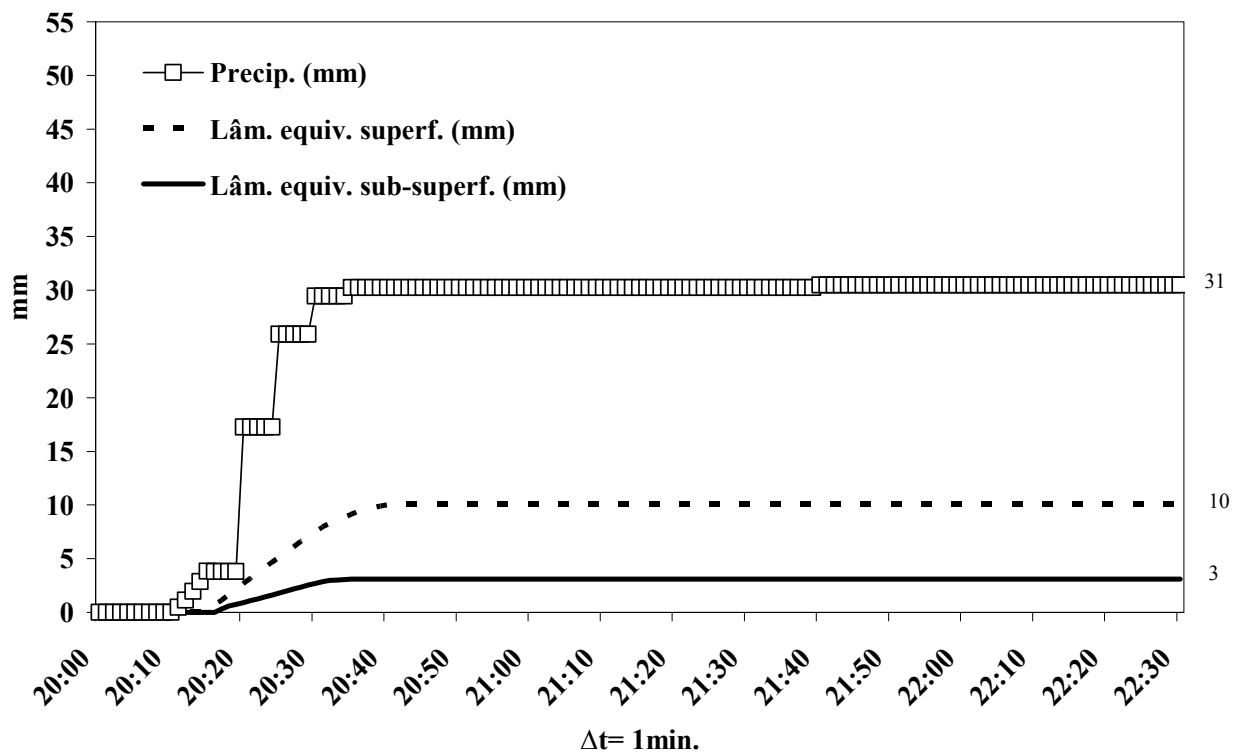


Figura 5.39 - Lâminas de precipitação e do escoamento gerado pelo lote em 25/11/2006.

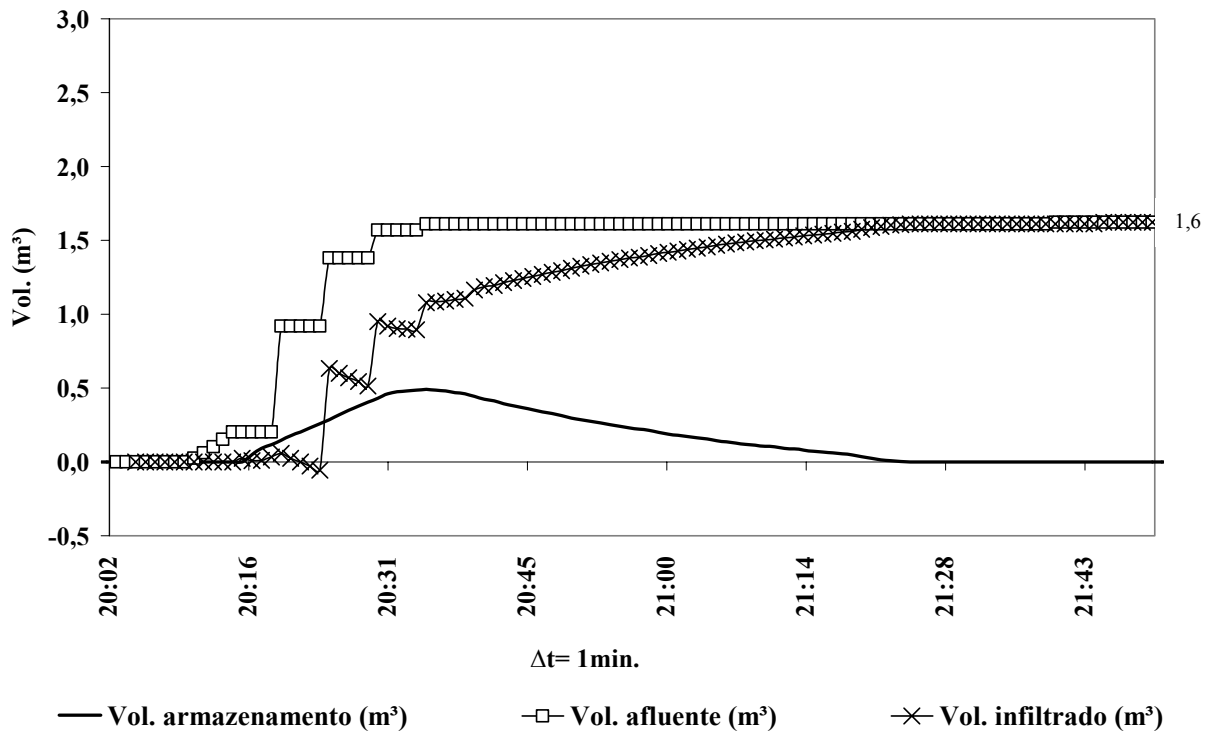


Figura 5.40 - Volumes amortizados pela trincheira de infiltração em 25/11/2006.

A Figura 5.40 apresenta os volumes absorvidos pela trincheira no evento em 25 de novembro de 2006. O comportamento hidrológico de ascensão dos volumes efetuados praticamente assume o mesmo identificado no evento anterior, inclusive com as mesmas características observadas pelo volume efluente ou de infiltração negativa.

Apresenta-se, a seguir, uma série de eventos, caracterizados pela estimativa de lâminas equivalentes superficiais e subsuperficiais, precipitações observadas e volumes de infiltração através da trincheira. Os eventos estão classificados por ordem de intensidade pluviométrica, sendo:

- Figura 5.41: evento em 03/01/2007 de baixa intensidade ($i \leq 10$ mm/h);
- Figura 5.42: evento em 01/01/2007 de média intensidade ($10 < i \leq 30$ mm/h); e
- Figura 5.43: evento em 06/12/2006 de alta intensidade ($i > 30$ mm.h).

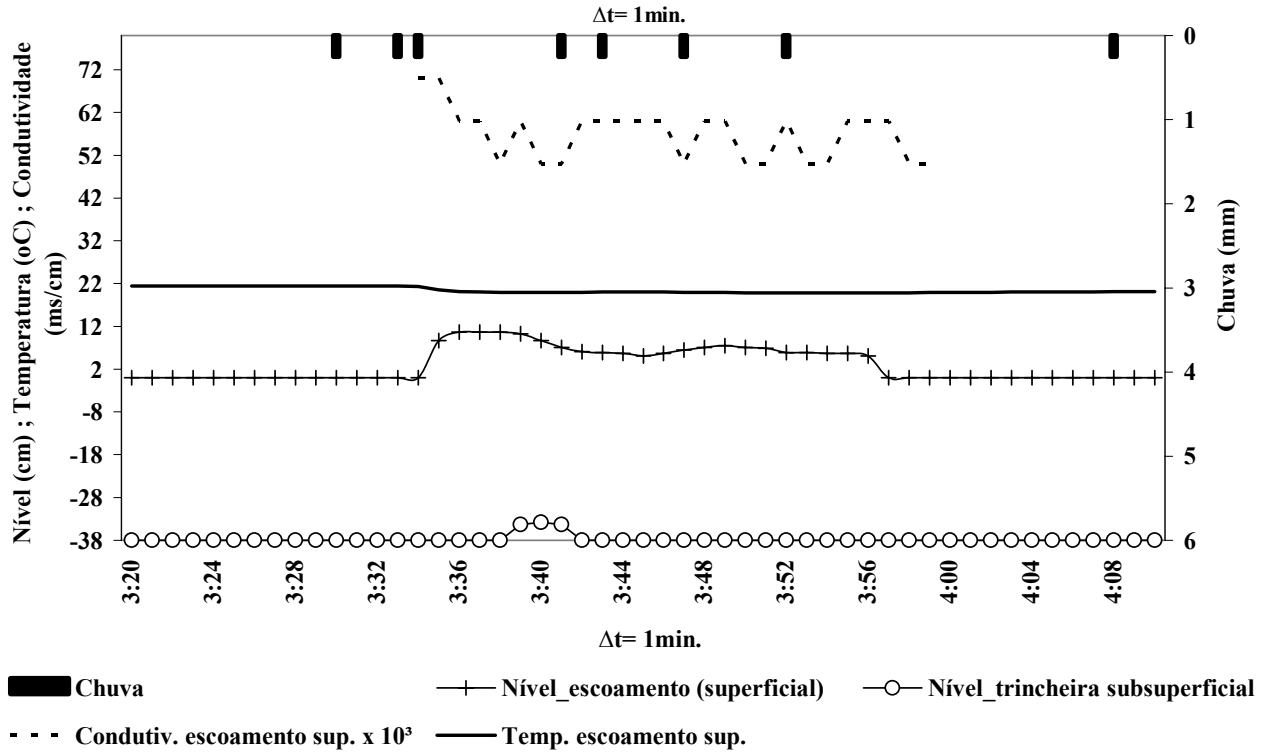


Figura 5.41 - Evento de baixa intensidade em 03/01/2007.

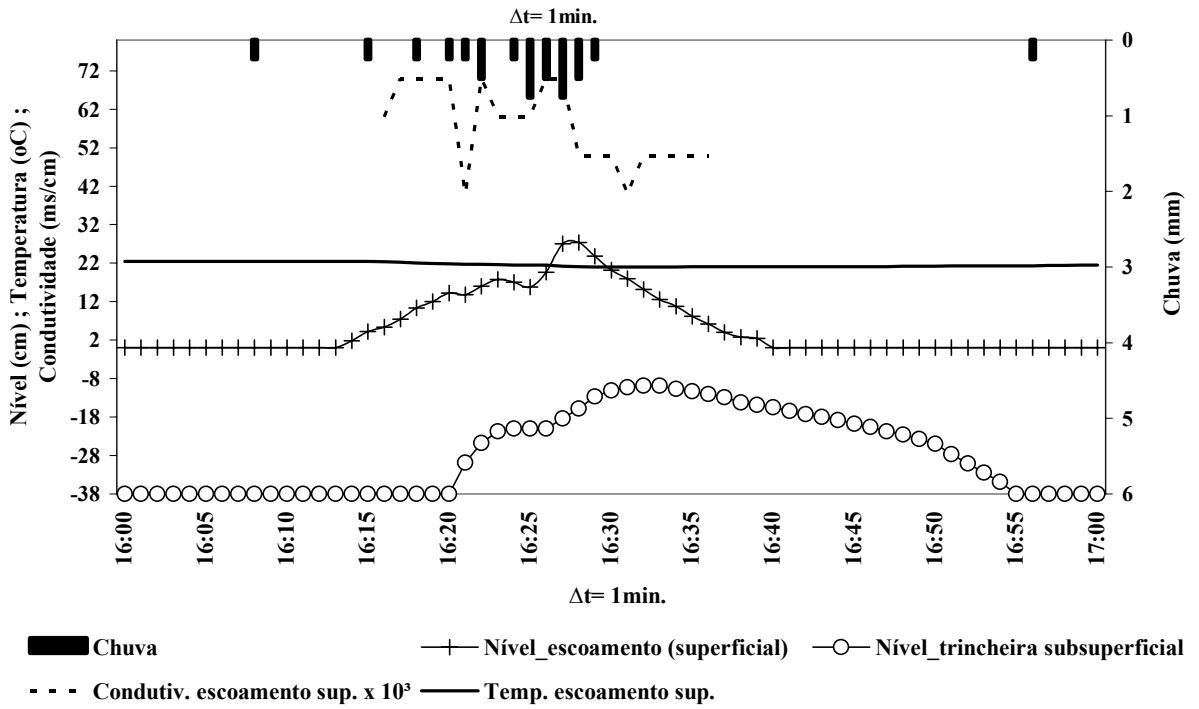


Figura 5.42 - Evento de média intensidade em 01/01/2007.

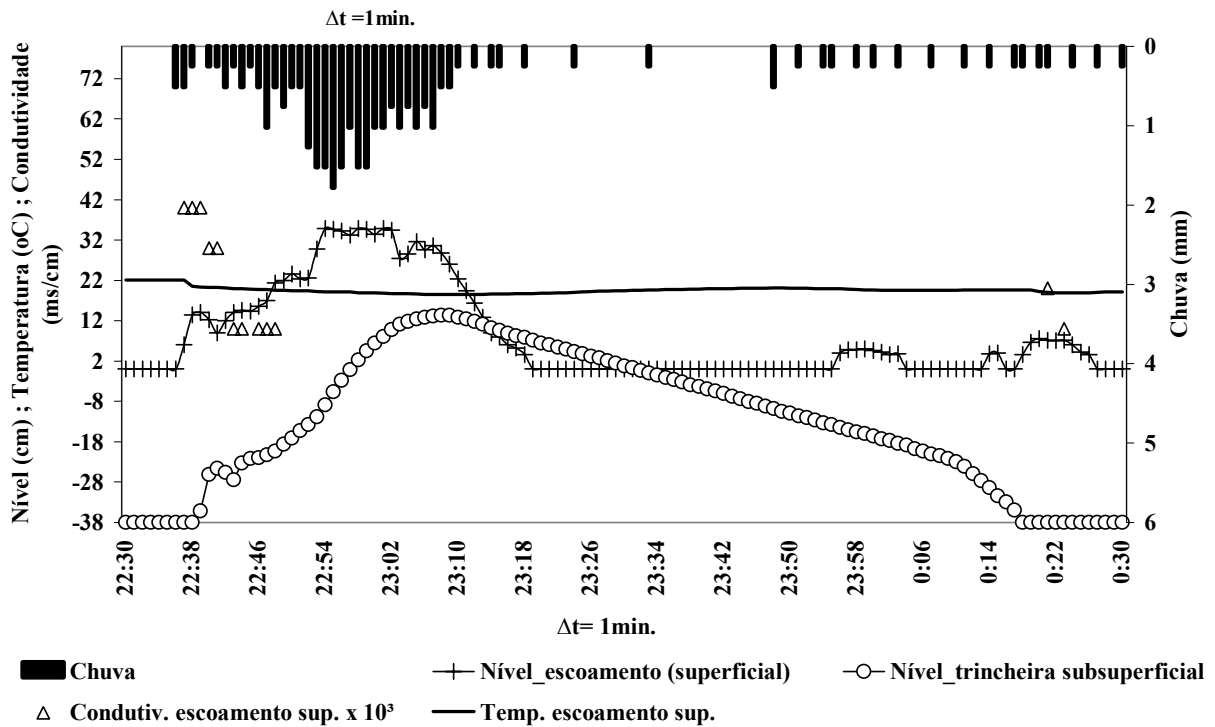


Figura 5.43 – Evento de alta intensidade em 06/12/2006.

Evento em 03/01/2007

O evento em 3 de janeiro de 2007, classificado como de *baixa intensidade* teve duração aproximada de 38 minutos com precipitação acumulada de 2 mm. Enquanto no escoamento subsuperficial pela trincheira a lâmina equivalente foi menor que 0,5 mm, a lâmina equivalente superficial foi observada em 1,7 mm. O volume infiltrado ou de entrada na trincheira para este evento foi estimado em 0,11 m³.

Evento em 01/01/2007

Com duração observada de 21 minutos, a intensidade do evento em 1º de janeiro de 2007 foi de aproximadamente 14 mm/h, classificada como de *média intensidade*. O escoamento superficial no período atingiu alturas de até 0,28 m na caixa de saída do lote, o

que corresponde, conforme as áreas da edificação principal e da canaleta de drenagem lateral adjacente ao muro do vizinho ao sul, a uma lâmina equivalente de 2,8 mm. Para o escoamento subsuperficial, a altura observada no poço de monitoramento 2 chegou até 0,28m da cota de fundo da trincheira ou 0,09 m abaixo da cota de fundo da caixa de saída do lote. Este nível correspondeu a uma lâmina equivalente de 1,2 mm.

Evento em 06/12/2006

Em 6 de dezembro de 2006, o evento obteve classificação alta, relativa à sua intensidade de chuva. Com precipitação total observada de 28 mm, o evento registrou duração de 42 minutos, gerando um nível d'água na caixa do escoamento superficial de 0,34 m, correspondente a uma lâmina equivalente de 13,8 mm. Na trincheira, o monitoramento do Poço 2 observou níveis de até 51 cm, resultando em lâminas de 4,3 mm.

Estimativa do coeficiente de escoamento

Esses eventos foram selecionados devido às suas características hidrológicas, entretanto, não devem ser referência para dados similares. O gráfico da Figura 5.44 ilustra o comportamento do coeficiente de escoamento da área de contribuição da trincheira em função da intensidade pluviométrica.

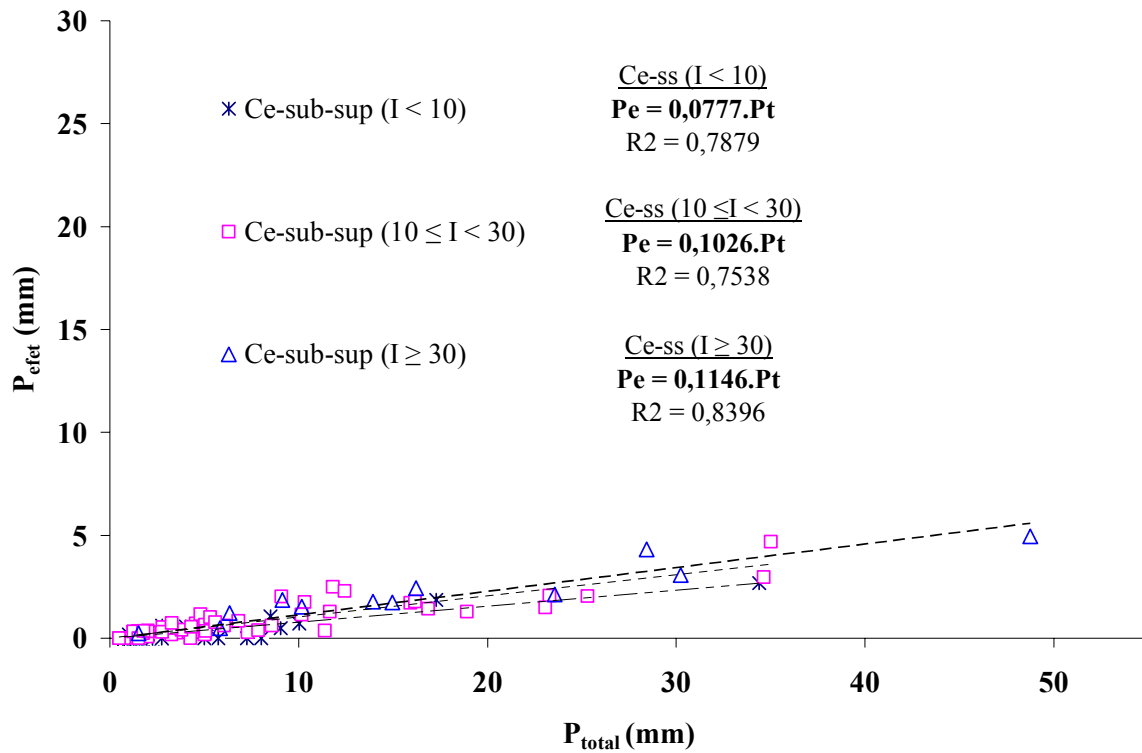


Figura 5.44 - Coeficiente de escoamento subsuperficial pela trincheira para eventos de diferentes intensidades.

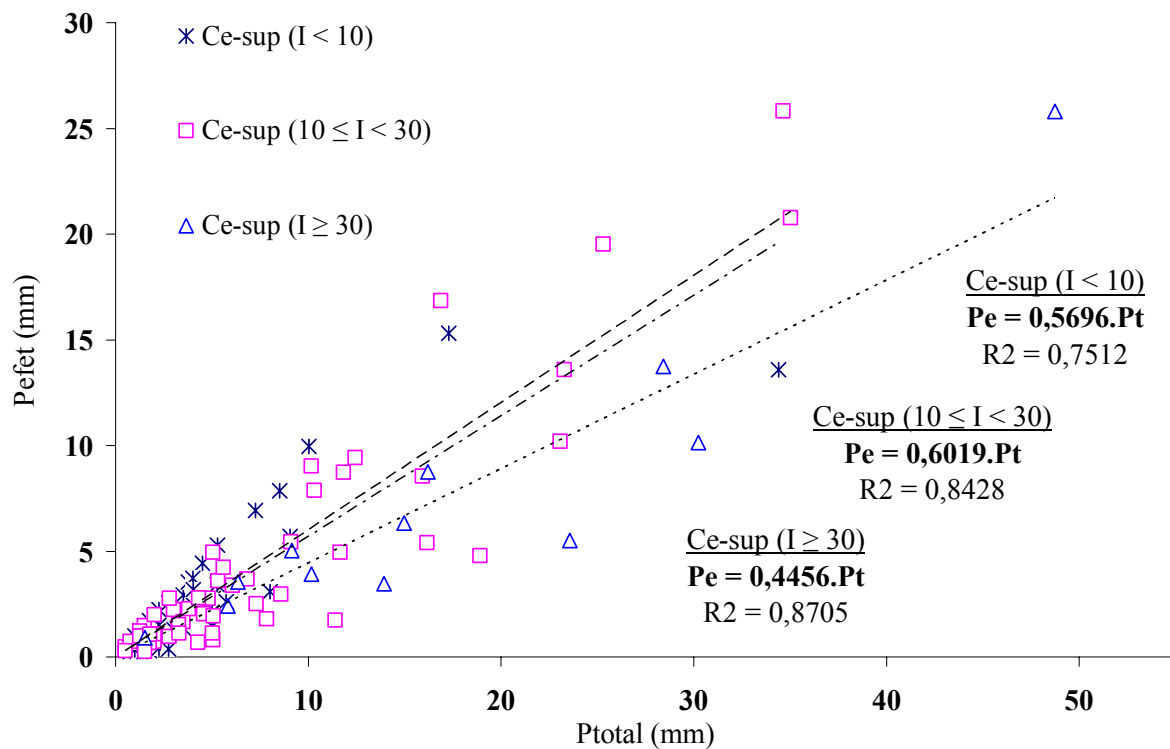


Figura 5.45 - Coeficiente de escoamento superficial na saída do lote para eventos de diferentes intensidades.

A variação do escoamento pela trincheira devido à precipitação, conforme Figura 5.44, indica um aumento de até 30% do volume subsuperficial conforme eleva-se a intensidade média de pequeno ($I < 10$) para médio porte ($10 \leq I < 30$). A capacidade infiltrante da trincheira é reduzida devido à rápida saturação do solo e elevada intensidade.

Superficialmente, de acordo com a Figura 5.45, o escoamento proveniente do telhado da edificação principal pode aumentar em até 25%, conforme variação da intensidade das chuvas. O escoamento superficial para intensidades elevadas ($I \geq 30$) foi inferior devido, provavelmente, a maiores perdas iniciais e à infiltração pela tubulação longitudinal à trincheira.

As tabelas 5.9 e 5.10 apresentam, respectivamente, a precipitação total e o resumo do balanço hídrico estimado para as medidas monitoradas no lote, sendo: trincheira de infiltração, telhado verde e caixa de saída para o escoamento superficial. A precipitação total, P_{total} , difere da dos eventos, $P_{totalEV}$, pelas chuvas observadas e não relacionadas pelos eventos selecionados. O período correspondente de análise dos dados teve início em novembro de 2006 e foi até março de 2007.

Tabela 5.9 - Dados de precipitação total observados pela estação do lote

Chuva	
P_{total} (mm)	$P_{totalEV}$ (mm)
1.203	842

Tabela 5.10 - Resumo do balanço hídrico estimado pelo monitoramento das medidas incorporadas no lote

ES			ESS			ETV		
$P_{efet.ES}$ (mm)	Ia (mm)	F (mm)	$P_{efet.TR}$ (mm)	Ia (mm)	F (mm)	$P_{efet.TV}$ (mm)	Ia (mm)	F (mm)
471	128	243	86	251	506	403	377	60

De acordo com os dados apresentados nas tabelas anteriores, há lâminas totais de aproximadamente 360 mm não computadas na seleção dos eventos. Este valor corresponde

às precipitações com escoamento considerado nulo e, portanto, pode ser assumido como valor de evapotranspiração e/ou perdas iniciais e/ou infiltração. A infiltração F indicada para o escoamento superficial deve-se ao movimento das águas absorvidas pelo caminho durante a passagem longitudinal pela trincheira. A isso deve-se somar também o valor não admitido pelas perdas decorrentes do vazamento pela comporta.

Cenários de controle do escoamento

Ambos cenários — subsuperficial e superficial — apresentados indicam, portanto, níveis de eficiência que podem ser avaliados de acordo com a transferência dos dados de armazenamento para um cenário de risco sem controle. A tendência de crescimento e/ou de diminuição da reservação foi abordada através das medições das lâminas e precipitações totais acumuladas.

A análise da eficiência da retenção hídrica é definida como sendo uma atividade técnico-científica que objetiva proporcionar melhorias no uso da água, com a redução do escoamento superficial através da introdução de elementos ou medidas necessárias para o gerenciamento hídrico do lote.

Os desenhos a seguir representam esquematicamente dois cenários: o promissor e o de risco. O cenário de risco, ilustrado na Figura 5.46, foi considerado como sendo aqueles compostos por lotes ocupados tradicionalmente, com impermeabilização total do solo, não-aproveitamento das águas pluviais, uso de telhas convencionais e descarga sanitária na rede sem tratamento prévio. Entende-se por cenário promissor, visto na Figura 5.46, aquele em que há melhorias instaladas no lote ou de controle alternativo de reservação d'água, tendo como meta a redução do impacto hidrológico pela diminuição do escoamento ao longo das galerias pluviais.

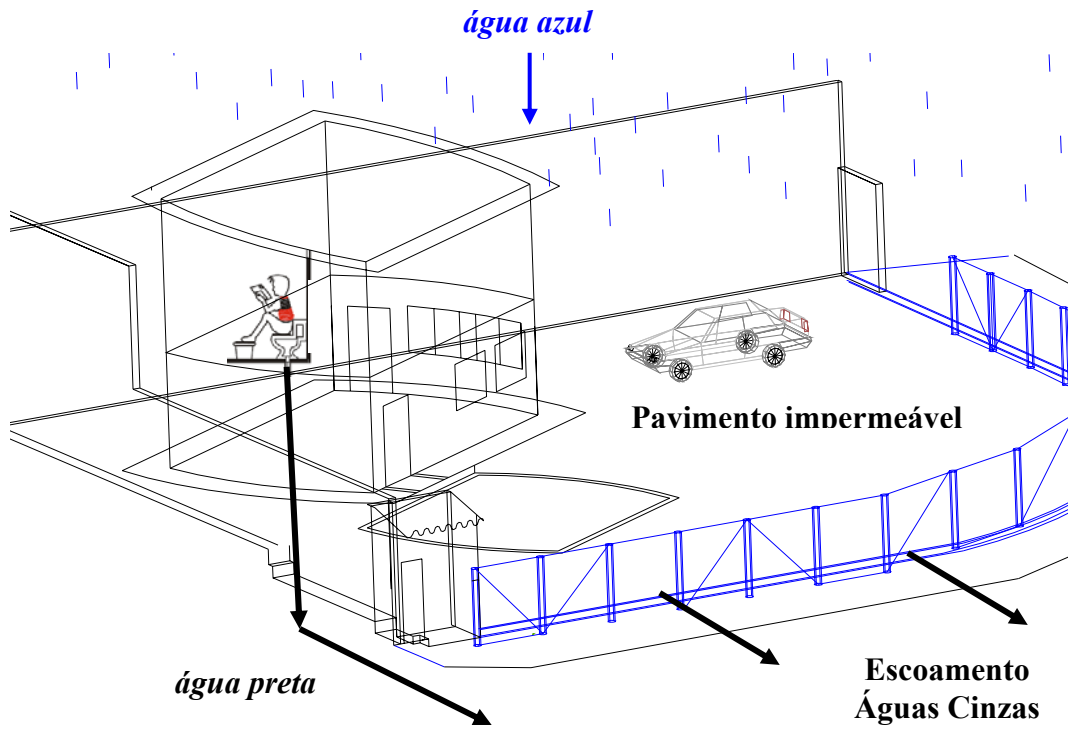


Figura 5.46 – Esquema tradicional sem controle do uso da água.

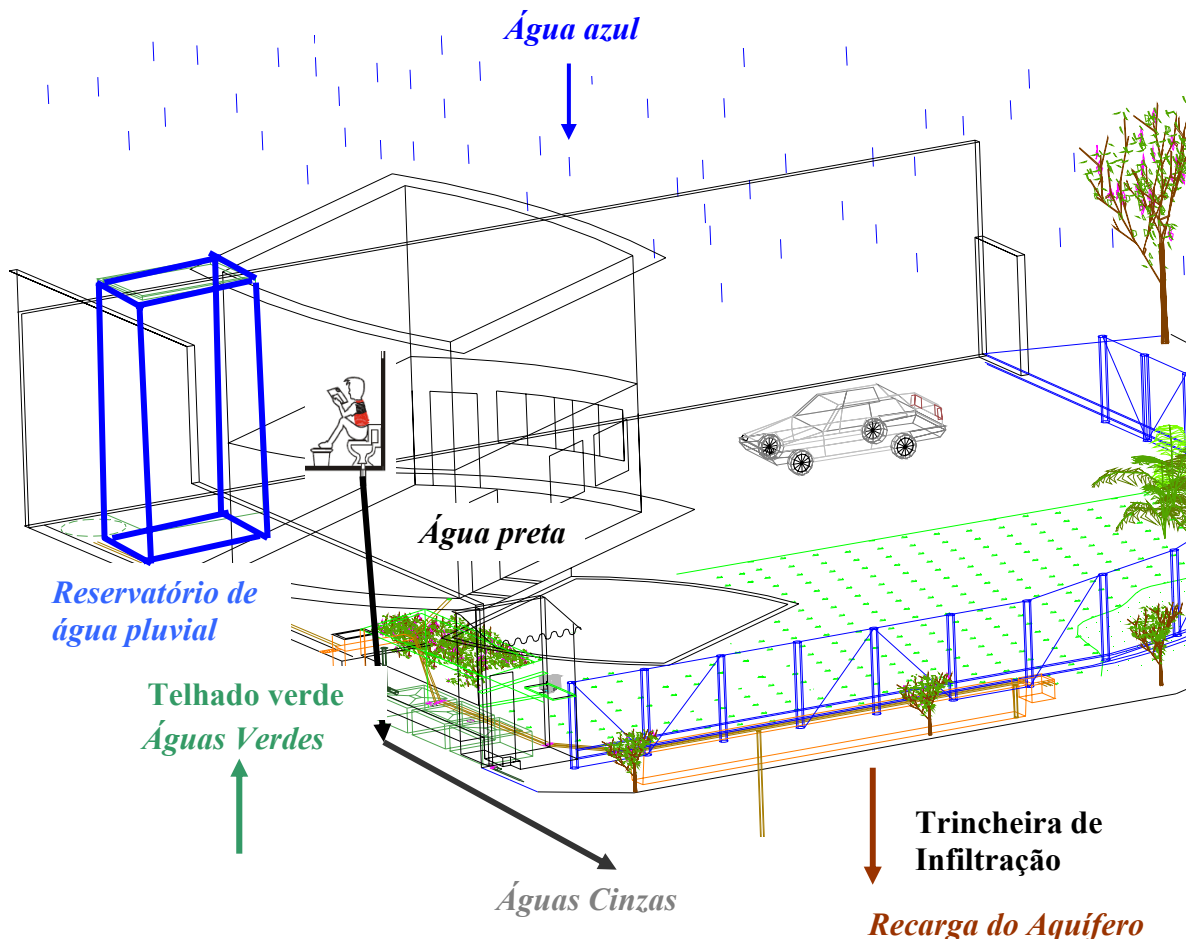


Figura 5.47 – Esquema alternativo de reserva e controle do uso da água.

As alternativas apresentadas pelo cenário promissor — alternativo — são independentes, embora suas funções de forma integrada estejam interrelacionadas ao uso da água do interior hidrológico do lote. O ciclo alternativo na escala de lote, desde a precipitação gerada — *água azul* — prevê uma diminuição dos processos laminares em relação ao escoamento. Adicionalmente, a transferência dos caminhos da água através do balanço hídrico acontece internamente a partir da verticalidade da infiltração e dos processos que envolvem a integração com o usuário, uma vez que a reservação da água no lote visa tanto o seu aproveitamento como a sua própria recarga — *recarga do aquífero*.

O uso de superfícies permeáveis altera as características do balanço hídrico, favorecendo o processo combinado da evaporação pela superfície com a transpiração das plantas, ou seja, através da evapotranspiração ou *água verde* proporcionada pelo telhado verde e pelas superfícies vegetadas. Da mesma forma, embora conceitualmente diferente, o uso de tanques para o aproveitamento de águas pluviais — *tanque de armazenamento de águas pluviais* —, também interfere na cota do balanço através da redução daquela precipitação efetiva que seria gerada pelo não-armazenamento das águas superficiais.

Biologicamente, o tratamento sanitário — *água preta* — melhora a qualidade da descarga do efluente a partir da utilização do biodigestor, onde aquela pode ser transformada em *água cinza*.

Sistematicamente, portanto, a introdução de melhorias relacionadas ao controle do uso da água em lotes habitacionais pode tornar mais eficiente o potencial de recarga e de reservação em sua própria *área edificandi*.

Quantificação dos cenários de controle

A fim de medir os níveis de eficiência da reservação e/ou da retenção hídrica gerados por cada instalação, foram consideradas as seguintes hipóteses para estimar seus respectivos valores dentro do cenário de risco, ou sem controle:

- a) a infiltração mais a lâmina de escoamento gerada no interior da trincheira — subsuperficial — foram consideradas como sendo a *lâmina de precipitação efetiva total*;
- b) as perdas iniciais foram mantidas de maneira igual para o cenário promissor ou com controle alternativo, ou seja, foram consideradas perdas iniciais iguais para ambos cenários;
- c) foi considerado, para cada evento selecionado, evapotranspiração nula, devido à análise do balanço hídrico ser de curto prazo ou menor do que 4 horas;
- d) foram desconsideradas as perdas geradas pela comporta na saída do lote, uma vez que são distribuídas conforme a intensidade das chuvas.

A partir das hipóteses assumidas, estimaram-se os coeficientes de escoamento superficial e subsuperficial para o cenário promissor e de risco — sem controle. A Figura 5.48 ilustra o comportamento relativo à eficiência da reservação na saída do lote, que possui a contribuição do escoamento pela trincheira através dos furos feitos ao longo dos tubos do escoamento oriundo do telhado da edificação principal. Entende-se $Ce_{sup.cc}$ como sendo o coeficiente de escoamento superficial com controle — ponto de monitoramento atravessado pela trincheira — e $Ce_{sup.sc}$ o coeficiente de escoamento

superficial sem controle. Para este último coeficiente, assumiu-se P_{efet} como sendo a soma entre o excedente gerado no escoamento superficial e a lâmina de escoamento gerado.

A Equação 5.7 representa a eficiência na retenção na saída do lote, a partir da instalação da trincheira de infiltração.

$$E_rSL(\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{\delta}\right) \quad (5.7)$$

E_rSL = eficiência na retenção hídrica na saída do lote;

α = ângulo correspondente ao Ce com controle; e

δ = ângulo correspondente ao Ce sem controle.

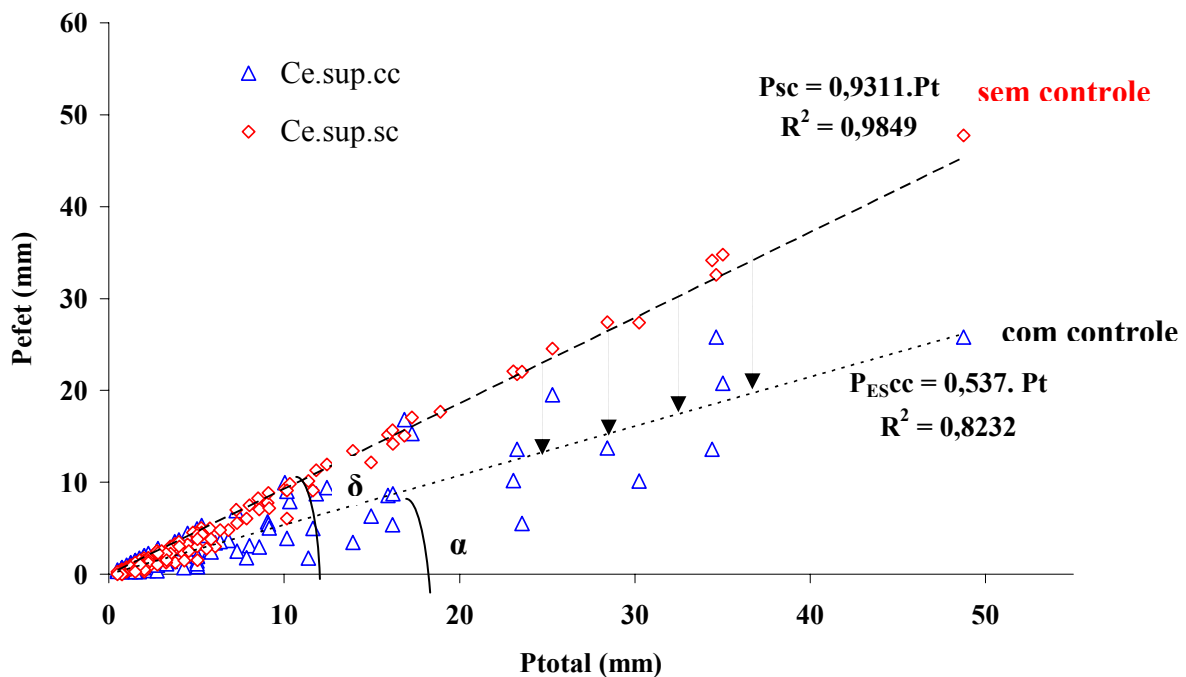


Figura 5.48 - Eficiência na retenção hídrica na saída do lote com e sem controle alternativo.

Considerando α com ângulo de aproximadamente $28,23^\circ$, e δ com ângulo de $42,96^\circ$, estima-se, na saída do lote, uma eficiência na retenção de 34%. Este valor indica a eficiência dadas às características instaladas pelo controle alternativo quando comparado com sistema sem controle.

O monitoramento interior à trincheira subsuperficial obteve eficiência dada pela Equação 5.8.

$$E_{r,TR}(\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\phi}{\psi}\right) \quad (5.8)$$

$E_{r,TR}$ = eficiência na retenção hídrica pela trincheira de infiltração;

ϕ = ângulo correspondente ao C_e da trincheira com controle; e

ψ = ângulo correspondente ao C_e da trincheira sem controle.

O gráfico da Figura 5.49 ilustra o comportamento estimado pela eficiência instalada a partir da trincheira de infiltração. Entende-se $C_{e.subsup.cc}$ como sendo o coeficiente de escoamento subsuperficial com controle — poço de monitoramento 2 interior à trincheira — e $C_{e.subsup.sc}$ como o coeficiente de escoamento subsuperficial sem controle. Assumiu-se como hipótese de cálculo para o cenário sem controle a P_{efet} como sendo o valor da infiltração somado ao escoamento gerado.

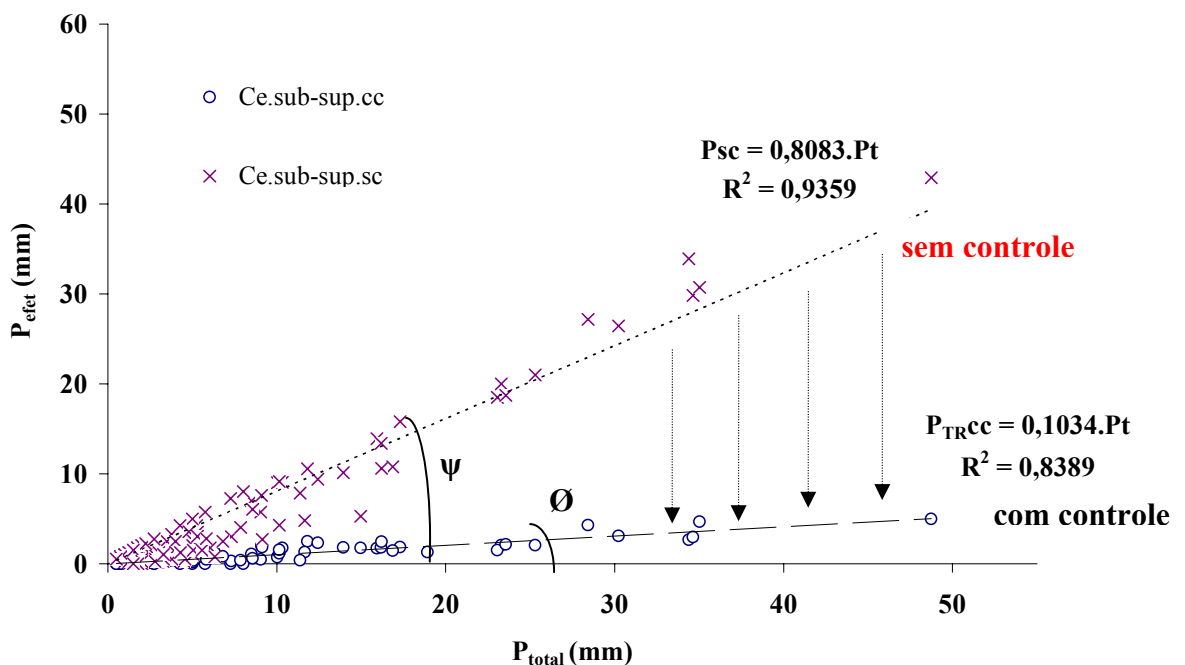


Figura 5.49 - Eficiência na retenção hídrica pela trincheira de infiltração.

Considerando θ com ângulo de aproximadamente $5,90^\circ$ e ψ com ângulo de $38,95^\circ$, estima-se uma eficiência, na retenção do escoamento pela trincheira de até 85%. Este valor indica a eficiência dadas as características instaladas pela trincheira, quando comparada com o sistema sem controle de reservação d'água. O volume excedente somado às perdas iniciais foi considerado como aquele não amortizado pela trincheira de infiltração, podendo ser observado em pavimentos impermeáveis e tubulações de drenagem precedentes ao escoamento em direção à trincheira.

As equações 5.9 e 5.10 representam as fórmulas adotadas para a determinação do coeficiente de escoamento dos cenários: promissor — com controle alternativo — e de risco — sem controle alternativo —, respectivamente.

$$\text{Com controle: } \frac{P_e}{P_{total}} = C_{ecc} \quad (5.9)$$

$$\text{Sem controle: } \frac{P_e + F}{P_{total}} = C_{esc} \quad (5.10)$$

P_e = precipitação efetiva;

P_{total} = precipitação total;

F = infiltração;

C_{ecc} = coeficiente de escoamento com controle; e

C_{esc} = coeficiente de escoamento sem controle.

A Figura 5.50 ilustra o comportamento relativo ao escoamento superficial gerado para as medidas instaladas de reservação de acordo com suas respectivas áreas de contribuição. Entende-se ES como o escoamento superficial do lote, ETV como o escoamento gerado pelo telhado verde e ETR como o escoamento subsuperficial obtido

pelo monitoramento interior à trincheira. Embora com áreas não equivalentes, os resultados indicam uma reservação acentuada proporcionada pela trincheira de infiltração, em comparação com o telhado verde e o escoamento sobre o lote. Ressalta-se que o escoamento do lote está sob a influência direta do escoamento subsuperficial, uma vez que a tubulação é perfurada e atravessa a trincheira.

Para a obtenção do cenário integrado, levou-se em consideração 31 eventos comuns distribuídos em cinco meses. A precipitação total considerada foi de 265 mm.

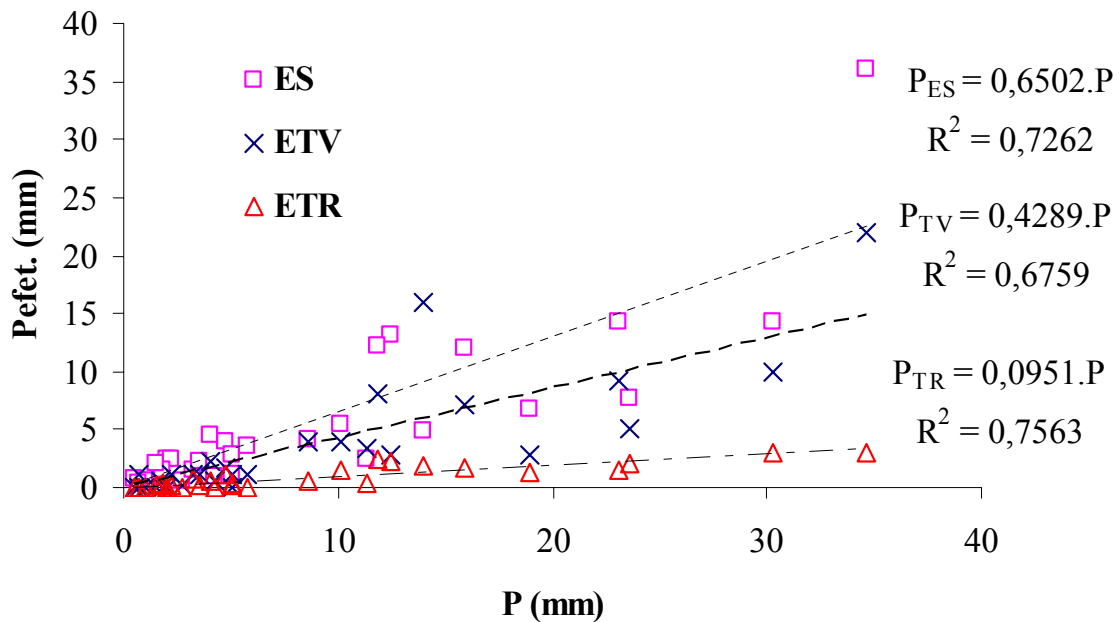


Figura 5.50 - Eventos integrados de escoamento do lote (ES), telhado verde (ETV) e trincheira de infiltração (ETR). As medidas de reservação possuem áreas de contribuição distintas.

Para uma estimativa da eficiência integrada das medidas instaladas no lote, com e sem controle alternativo, foram consideradas as equações 5.11 e 5.12, respectivamente, tendo como referência os eventos do gráfico da Figura 5.49.

$$P_{lote}^{cc} = \frac{P_{TR} \cdot A_{TR} + P_{TV} \cdot A_{TV}}{A_{lote}} \quad (5.11)$$

$$P_{lote}^{sc} = \frac{(P_{TR} + F_{TR}) \cdot A_{TR} + (P_{TV} + F_{TV}) \cdot A_{TV}}{A_{lote}} \quad (5.12)$$

P_{lote}^{cc} = precipitação gerada pelo lote com controle;

P_{lote}^{sc} = precipitação gerada pelo lote sem controle;

P_{TR} = precipitação efetiva interior à trincheira de infiltração;

P_{TV} = precipitação efetiva do telhado verde;

A_{TR} = área de contribuição para a trincheira de infiltração;

A_{TV} = área de contribuição do telhado verde;

A_{lote} = área total do lote;

F_{TR} = infiltração na trincheira; e

F_{TV} = infiltração no telhado verde.

Para área do lote, consideraram-se as áreas de contribuição somadas das medidas embutidas, totalizando 168 m². Assumiram-se as perdas iniciais como sendo iguais para ambos os cenários.

A Figura 5.51 apresenta a eficiência global, integrando todas as medidas de reservação instaladas e identificando os cenários de risco — sem controle — e promissor — com controle.

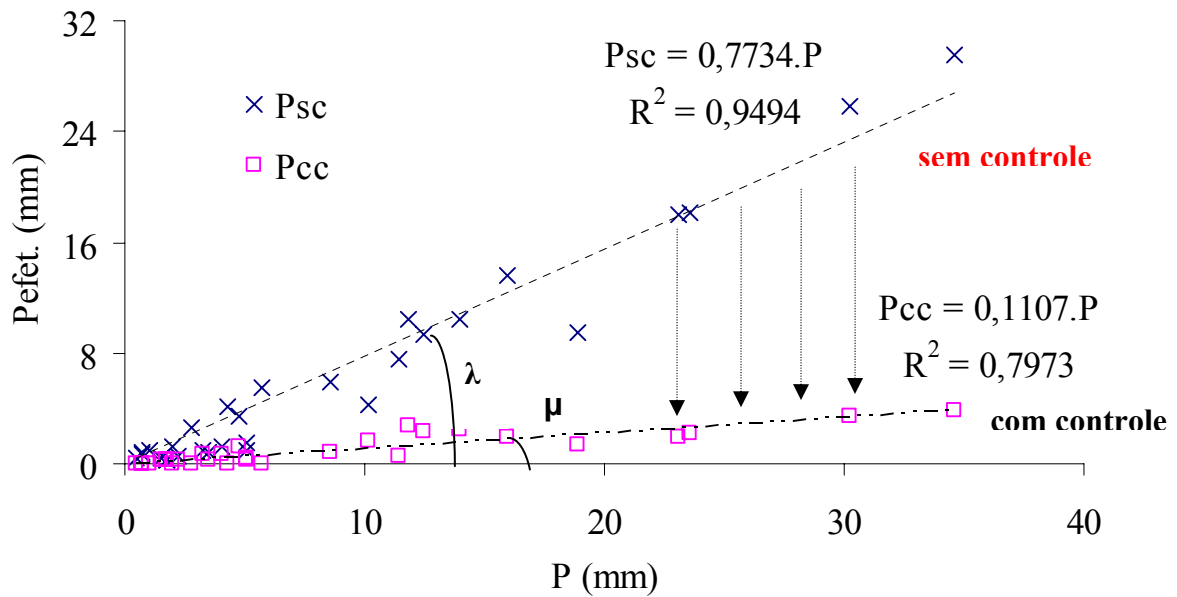


Figura 5.51 - Análise da eficiência global de integração das medidas de reservação instaladas no lote para o cenário sem controle (P_{sc}) e com controle (P_{cc}).

Utilizando a Equação 5.13 para determinar a eficiência global composta pela integração de todas as medidas aplicadas, ou seja, trincheira de infiltração, poço profundo e telhado verde com sistema de reservação d'água,

$$E_rGL(\%) = 100 \cdot \left(1 - \frac{\mu}{\lambda}\right), \quad (5.13)$$

e sendo

E_rGL = eficiência na retenção hídrica global;

μ = ângulo correspondente ao Ce global com controle; e

λ = ângulo correspondente ao Ce global sem controle;

estima-se uma eficiência global de 80% de retenção quando avaliadas as condições entre um cenário convencional e um cenário com medidas não convencionais de reservação

d'água. Os eventos selecionados na integração dos cenários possuem média duração de 30 minutos.

Ao analisar a área selecionada pelo lote, verifica-se que a classificação do coeficiente de escoamento para o cenário de risco ou sem controle está dentro dos limites estabelecidos pela literatura para pavimentos e telhados impermeáveis, conforme a Tabela 3.3., “Valores de C_e para superfícies de escoamento”, e Tucci (2000). Para o cenário de controle, caracterizado pelas medidas de reservação, o coeficiente de escoamento obteve valor similar a *parques e jardins*, embora constate um lote com ocupação residencial.

A representação do escoamento a partir dos cenários avaliados está relacionada com a precipitação total através da Figura 5.52. Do total precipitado, aproximadamente 190 mm escoaram do lote sem medidas de controle, e 30 mm escoaram do lote devido às medidas não convencionais de reservação utilizadas.

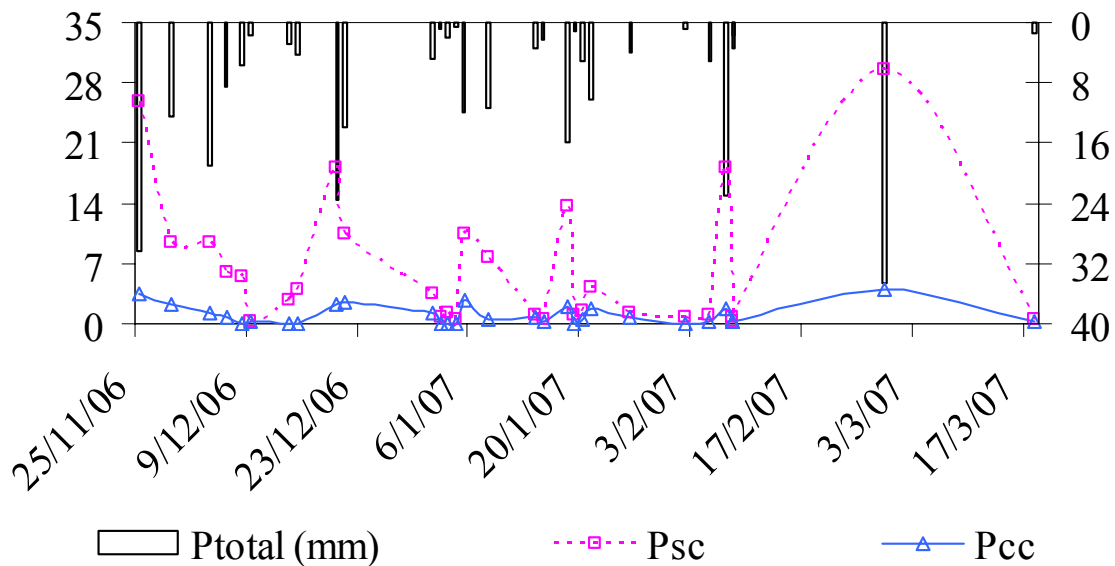


Figura 5.52 - Precipitação efetiva sem controle (P_{sc}) e com controle (P_{cc}) em função da precipitação total.

5.4. Análises do efluente sanitário gerado a partir do biodigestor

Conforme exposto em 3.3.5.4., “Biodigestor séptico da Embrapa”, o efluente sanitário teve como destino, antes do despejo para a rede de esgoto, a passagem pelo biodigestor séptico do modelo da Embrapa. As análises dos parâmetros selecionados foram realizadas de acordo com a 21^a edição do *Standard methods for the examination of water and wastewater* (GREENBERG et al., 2005).

Para a escolha dos parâmetros a serem analisados, foram considerados aqueles recomendados, em partes, pelo Prosab (CAMPOS, 1999), sendo: pH, turbidez, resíduos (em suas diferentes formas: suspensos, dissolvidos, fixos e voláteis), nitrogênio (nas formas de nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito), fósforo, OD, absorvância, DQO, DBO, coliformes fecais e coliformes totais.

Embora Novaes et al. (2002) tenham confirmado a eficiência demonstrada na biodigestão dos excrementos humanos e conseqüente eliminação de agentes patogênicos a partir do modelo de fossa séptica biodigestora, foram realizadas análises laboratoriais para caracterizar esses agentes e verificar a viabilidade técnica da instalação do biodigestor em áreas residenciais.

A ausência de um ponto de amostragem para análise do efluente bruto determinou a coleta de entrada na primeira caixa do biodigestor. Para as análises pós-tratamento, o efluente foi coletado a partir da abertura do registro projetado conforme a Figura 4.4 anterior.

Tomando como referência a Resolução Conama 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, os valores analisados pós-tratamento para a DBO₅) foram considerados elevados para todas as classes — 1, 2, 3 e 4 —, ou seja, maiores do

que 10 mg/l. Embora com eficiência no tratamento de até 90% do efluente bruto lançado, os valores analisados não se enquadram no estabelecido pela Conama 357 (BRASIL, 2005). Os resultados analisados também não estão dentro dos limites recomendados para lançamento em corpos d'água, conforme o Prosab (CAMPOS, 1999), que dispõe como diretriz básica e preliminar mínima alcançar eficiência na remoção de DBO superior a 80% e efluentes tratados com DBO inferior a 60mg/l.

Da mesma forma, o OD não obedeceu ao enquadramento daquela resolução, com resultados menores do que 2mg/L, assim como o NA analisado na saída de todas as coletas com índices superiores a 200 mg/L.

A Tabela 5.11 apresenta os resultados obtidos pelas análises laboratoriais, realizadas em parceria com os técnicos do Laboratório de Saneamento da EESC - USP.

A variação de coliformes fecais na entrada do biodigestor pode estar associada à adubação ou adição de mistura próxima a data de coleta, dado que a carta varia de 49.000 (3ª coleta) até 8,7 milhões (5ª coleta), devendo-se considerar portanto o tempo de permanência ou de decomposição da mistura.

Tabela 5.11 – Resultados das análises do efluente sanitário

N. Coleta	Primeira		Segunda		Terceira		Quarta		Quinta	
Data	31/08/2006		22/11/2006		14/06/2007		13/07/2007		01/08/2007	
Ponto	Saída⁽²⁾	Entrada⁽¹⁾	Saída⁽²⁾	Entrada⁽¹⁾	Saída⁽²⁾	Entrada⁽¹⁾	Saída⁽²⁾	Entrada⁽¹⁾	Saída⁽²⁾	
pH	7,5	7,9	7,6	8,0	7,7	8,0	7,6	7,9	7,6	
Turbidez (UNT)	67	620	200	426	25	141	53	144	30	
SST (mg/l)	1.492	398	45	490	62	202	175	224	33	
SVT (mg/l)	60	888	456	904	322	901	644	950	333	
Nitrato (mg/l)	2,11	2,52	1,14	2,46	0,37	2,71	0,94	2,26	0,29	
Nitrito (mg/l)	1,375	< 0,001	1,44	< 0,001	0,250	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Fosfato (mg/l)	29	121	125	86	64	50	80	36	28	
OD (mg/l)	2,6	2,1	1,6	0,0	3,5	1,3	1,7	0,8	1,9	
Nit. amon (mg/l)	309	376	209	327	282	416	380	446	371	
DQO (mg/l)	758	1.164	716	1486	296	604	341	884	334	
DBO5 (mg/l)	311	492	78	627	63	175	92	348	88	
C. fecais × 10³ (NMP/100 mL)	5	132.000	2	550	0,7	300	0,4	6.100	0,2	
C. totais × 10³ (NMP/100 mL)	227	370.000	2.700	49.000	110	94.000	800	8.700.000	720	

⁽¹⁾ Ponto coletado na primeira caixa do biodigestor.

⁽²⁾ Ponto coletado no registro da terceira caixa do biodigestor.

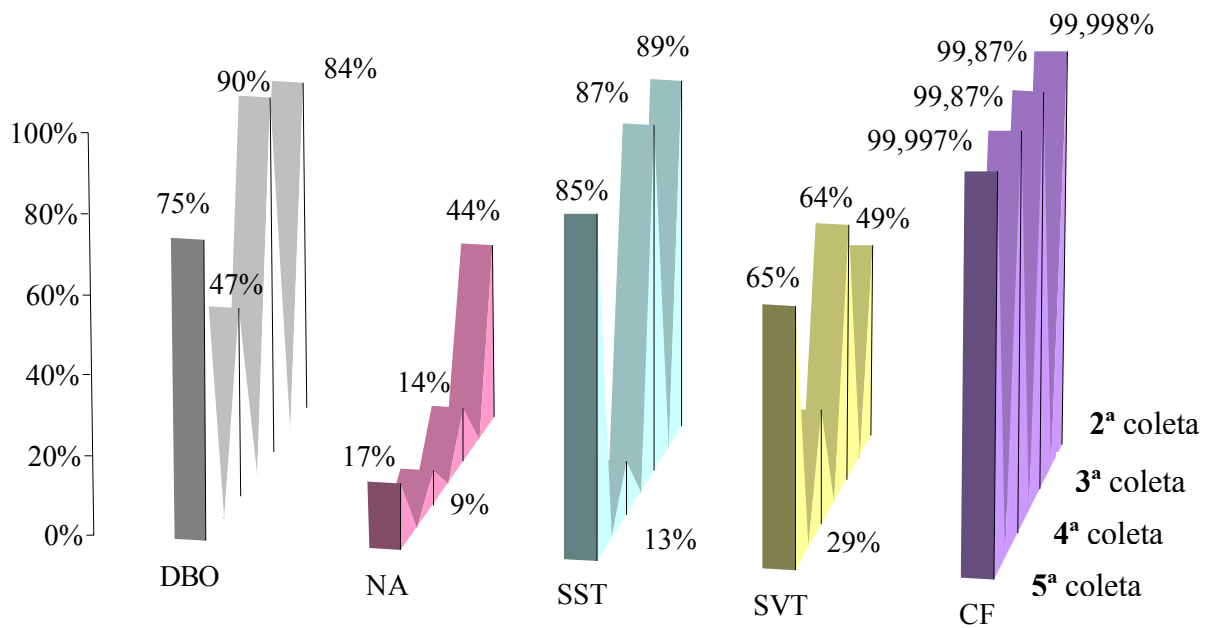


Figura 5.53 – Eficiência na remoção de agentes do efluente tratado pelo biodigestor séptico em quatro coletas.

Os gráficos da Figura 5.53 apresentam os índices percentuais relativos à eficiência na remoção de agentes dos seguintes parâmetros: DBO₅, NA, SST, SVT e CF. Os resultados apresentam as análises das quatro últimas coletas, tendo como parâmetros a coleta do efluente bruto na entrada e pós-tratamento na saída. Em 2006, foram adicionadas mensalmente as misturas de esterco fresco e água na proporção de 1:1, conforme recomendado em 4.9., “Metodologia para coleta e mistura do processo de biodigestão” e na Tabela 4.18.

Embora eficiências superiores a 90% tenham sido anotadas para os coliformes (medida usualmente em NMP/100 mL), o que representa uma boa remoção para o atendimento aos padrões estabelecidos, conforme o Prosab (CAMPOS, 1999), deve-se alcançar valores superiores de até 99,99%.

As Figuras 5.54 e 5.55 apresentam gráficos de eficiência em dispersão sendo: X: data, Y1: eficDBO, Y2: eficNA; Y3: eficSST e, assim sucessivamente, sendo o eixo de Y

variando entre 0% e 100%. Os rótulos são diferenciados para cada Ys, para diferenciar cada série de dados.

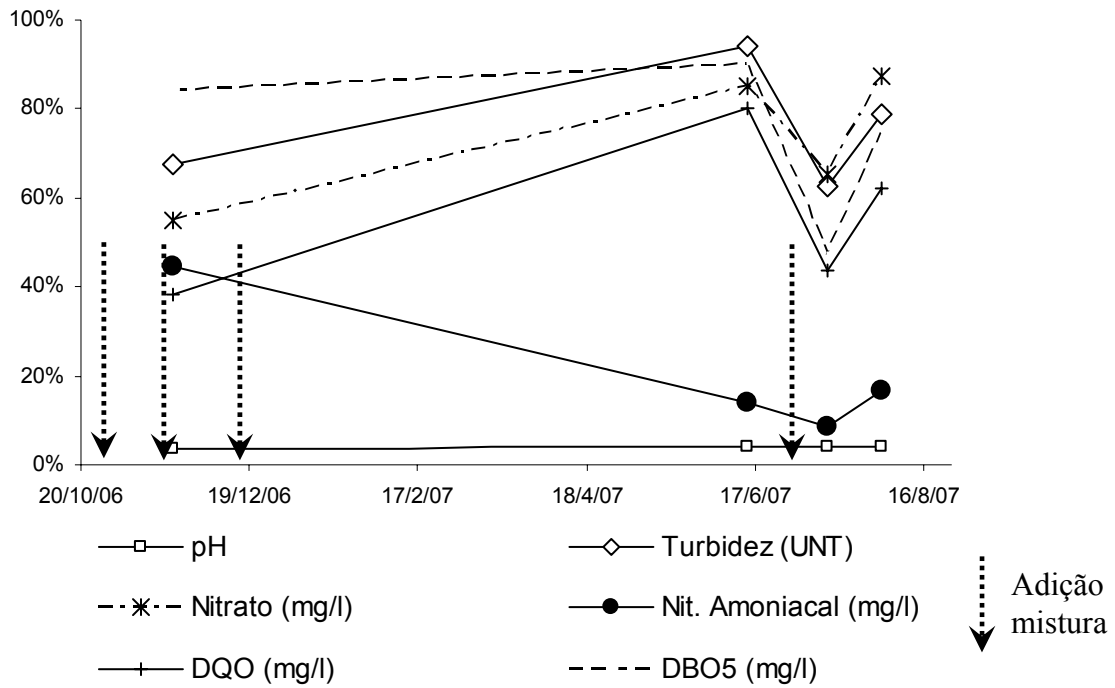


Figura 5.54 - Eficiência em dispersão para parâmetros diversos.

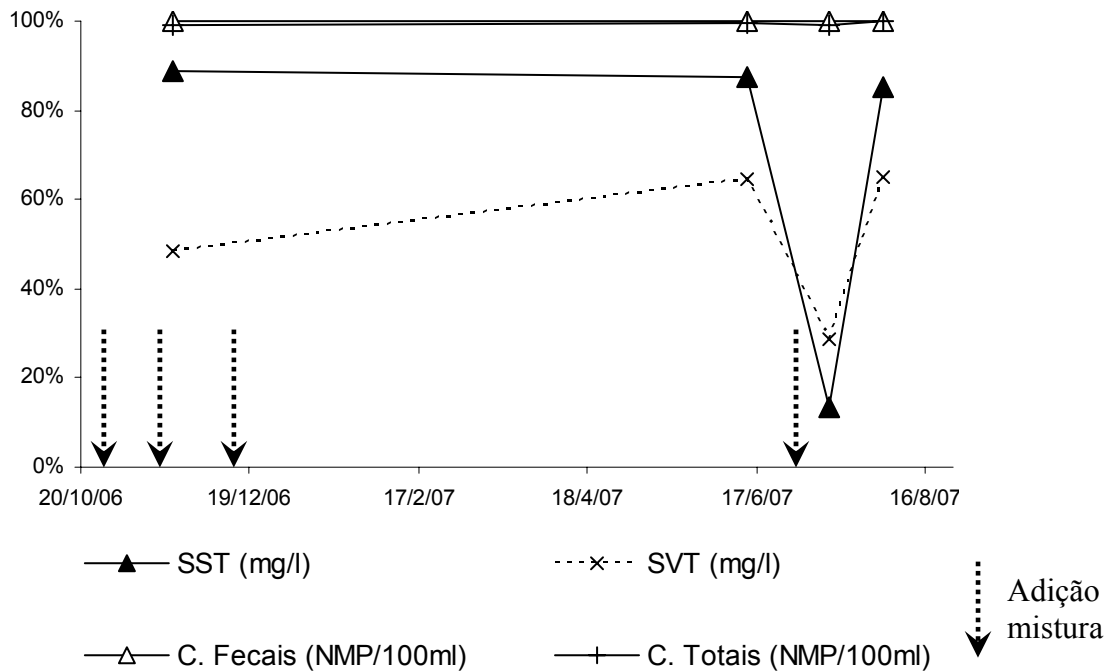


Figura 5.55 - Eficiência em dispersão para parâmetros fecais e totais.

A remoção de SST acima de 80%, com baixas concentrações de matéria orgânica, apontam vantagens para a utilização de processos de desinfecção desses efluentes. O Prosab (CAMPOS, 1999) reforça a utilização da desinfecção de efluentes com processos anaeróbios em comparação com processos aeróbios.

Os resultados indicam uma forte decomposição da matéria orgânica naturalmente, com poucas interferências devido à adição da mistura realizada no ano de 2006. Estudos específicos, como o do Prosab (DANIEL, 2001), indicam que algumas tecnologias de tratamento de esgotos em nível secundário apresentam baixa eficiência na inativação de coliformes, devido a diversos fatores, como pH, temperatura e insolação, contribuírem naturalmente para o decaimento da quantidade de microorganismos presentes.

As condições físicas da instalação, somado às exigências do local de instalação do biodigestor, não permitiram adequá-lo para receber as influências da temperatura e da radiação solar, consideradas como condições naturais essenciais para a remoção de patogênicos.

Como parte da extensão e resultado deste trabalho, foi aprovado pelo Edital MCT/CNPq/CT-Hidro/CT-Agronegócio nº 05/2006, o projeto intitulado ***R.U.A. HIDROSSOLIDÁRIA: 'bacia-escola' como ação de inclusão hidroterritorial no meio urbano e peri-urbano***. Em andamento e em vias de conclusão, o projeto objetivou difundir soluções simples, descentralizadas por sub-bacias e na escala de lote, de baixo custo, para colaborar com a inclusão social de comunidades de bacias hidrográficas urbanas e periurbanas.

5.5 Proposta de desenvolvimento de um sistema de drenagem inteligente aplicado em lotes urbanos com previsão antecipada de chuvas

Este sistema integra as informações recebidas por uma estação meteorológica, visando buscar decisões automáticas de manipulação da “drenagem” no próprio lote urbano. Através do desenvolvimento de um modelo que reconhece antecipadamente o início das águas da chuva, o sistema capta essa informação e prepara uma tomada de decisão, quer seja para reservação ou para o seu aproveitamento imediato.

A edificação deve ser projetada para que as águas superficiais de escoamento do telhado sejam enviadas para um reservatório pré-dimensionado conforme os índices pluviométricos da região. Em função de sua capacidade de armazenamento, o reservatório distribui ao longo do tempo o volume de água excedente.

Como existem no Brasil longos períodos de estiagem e há potencial de contaminação das águas iniciais urbanas de lavagem do telhado que, posteriormente, abastecerão os reservatórios de aproveitamento, é necessário um cuidado especial quanto à sua utilização imediata. Para a instalação de uma alternativa operacional que garanta o aproveitamento de águas não poluídas, é utilizado o sistema de drenagem inteligente de dispersão e de abastecimento das águas consideradas menos poluídas para o reservatório.

Estruturalmente, a composição do sistema envolve instalações hidráulicas, eletrônicas e programações computacionais que auxiliam no desenvolvimento e no funcionamento de toda a parte operacional. É proposta a aplicação de um instrumento adaptado para operação, sendo composto por três válvulas de abertura e de fechamento automático ($V1$, $V2$ e $V3$) com funções diferenciadas, e dois sensores de percepção, que indicarão o momento do início da chuva e o momento do descarte da água potencialmente poluída.

Parte da lógica de funcionamento do sistema inteligente elabora a capacidade do início do armazenamento da água da chuva em função do tempo de estiagem, visando a lavagem do telhado pós-período sem chuva. Além das válvulas e dos sensores, estima-se um tempo ($T1$) que funcionará como o tempo *preset* ou tempo sem chuva. A Figura 5.56 apresenta esquematicamente a lógica de funcionamento de parte do sistema de drenagem adaptados para lotes urbanos.

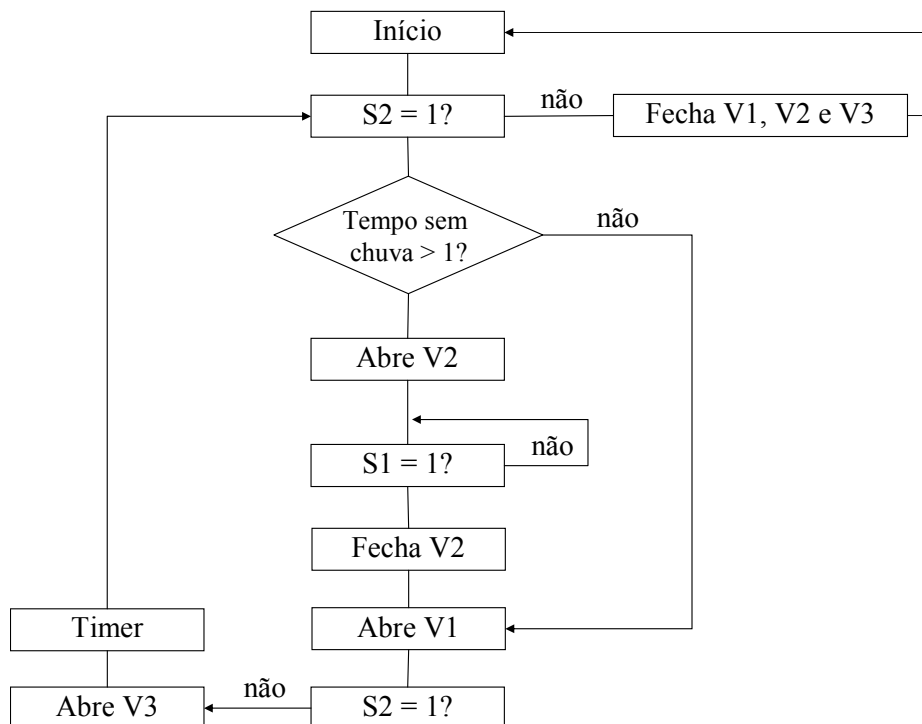


Figura 5.56 - Estrutura de lógica de funcionamento para o sistema de drenagem inteligente.

$V1$ = válvula que tem a função de coletar a chuva proveniente do telhado para posteriormente armazená-la no reservatório;

$V2$ = válvula que tem a função de descartar a chuva coletada no telhado;

$V3$ = válvula que tem a função de descartar a água do copo coletor;

$S1$ = sensor de nível do copo coletor;

$S2$ = sensor de chuva;

$T1$ = tempo *preset* sem chuva.

O ajuste do equipamento é realizado através de um software programável. O início da chuva é detectado por um sensor de presença ($S2$). Sem chuva, as válvulas $V1$, $V2$ e $V3$ permanecem fechadas. Com o início da chuva, é detectado no programa o seu respectivo tempo *preset* ($T1$), que é o tempo considerado de estiagem ou sem chuva. Caso este tempo ($T1$) seja menor que o programado, abre-se a válvula $V1$, que coleta a água do telhado, direcionando-a para o copo coletor. Esta água é descartada pela válvula $V3$, devido a ser considerada inadequada para o aproveitamento. Caso o tempo $T1$ seja maior que o programado, abre-se a válvula $V2$, que descarta a água da chuva coletada para, simultaneamente, abrir a válvula $V1$ e descartá-la para o reservatório. O tempo *preset* pode ser programado e ajustado, por exemplo, entre 1 e 50 dias. É necessário verificar antecipadamente as variáveis de controle do sistema. Através do modelo de previsão de chuvas integrado a outros sensores de níveis do reservatório, é possível estipular a ação a ser tomada. Deve-se atentar para os tempos de estiagem, uma vez que todo o sistema estará dependente desta variável.

Esta lógica e estrutura de funcionamento de descarte automático com reservação das águas de chuva deve estar interligada ao modelo de previsão da estação meteorológica, visando integrar o ciclo de otimização das informações hidrológicas.

Através do desenvolvimento de um modelo calibrado para ajustar seus parâmetros conforme as variáveis temporais coletadas de uma estação meteorológica, é possível compor a tecnologia de drenagem inteligente associada à previsão antecipada das chuvas.

Para o desenvolvimento deste sistema, deve-se dispor, conforme capítulos anteriores, de alguns elementos que caracterizam a sistematização dos dados, sendo estes: monitoramento, análise, calibração, previsão e decisão. A partir destes componentes, a

tecnologia de drenagem inteligente, associada ao modelo de previsão antecipado de chuvas, pode contribuir, por exemplo, para o desenvolvimento de instrumentos de políticas públicas e balanceamento das características de entrada e de saída do impacto hidrológico na própria fonte geradora.

6. CONCLUSÕES

Em *itálico* constam transcritos os objetivos iniciais propostos no Capítulo 2., “Objetivos”. Posteriormente, apresentam-se as suas respectivas conclusões, tendo como referência os resultados e as análises realizadas.

Objetivo principal: *Analisar a redução da poluição hídrica através de medidas não convencionais de reservação d’água aplicadas em lotes urbanos sob a ótica da eficiência individual e global integrada no lote.*

Os resultados apresentados a partir do monitoramento das medidas não convencionais instaladas, como trincheira de infiltração com poço profundo, telhado verde com reservatório de acumulação, caixa de saída do escoamento com dados de quantidade e qualidade d’água, indicaram a eficiência da retenção hídrica a partir de uma perspectiva adotada para um cenário de risco e outro cenário promissor ou com controle alternativo do uso da água.

Uma análise da eficiência individual pode ser considerada como sendo o estudo das medidas separadamente, ou seja, analisar o comportamento hidrológico particular de cada uma delas em comparação com um cenário sem a sua existência.

Considerando que as perdas iniciais e a infiltração foram somadas nas lâminas geradas superficialmente para o cenário de risco, a eficiência hídrica na saída do lote foi estimada em 35%, ou seja, a instalação de algumas medidas precedentes à descarga pluvial do lote é 35% mais eficiente hidrológicamente do que uma residencial com instalações convencionais de uso da água.

Os dados obtidos pelo linígrafo instalado no reservatório de acumulação do telhado verde resultaram em mais eficiência na retenção hídrica em comparação com uma estrutura de telhado convencional. Considerando a referência de origem canadense, FLL (2002), com resultado médio de retenção hídrica anual em torno de 55%, é revelada uma aproximação dos resultados encontrados nesta tese, com estimativa superior a 50% de retenção, incluindo as perdas iniciais e a evapotranspiração no período selecionado de setembro de 2006 a março de 2007.

O estudo da trincheira de infiltração resultou em uma retenção do escoamento de até 85%, mais eficiente do que uma residência sem controle na fonte. Embora sua forma tenha sido superdimensionada, dadas as características da área e condições locais, o volume retido não foi total devido, provavelmente, ao sistema de conexão, à trincheira e à elevada declividade das tubulações interligadas ao dispositivo. No entanto, a partir destas considerações, pode-se concluir que a eficiência de reservação d'água da trincheira residencial instalada está dentro das referências consideradas por Souza (2002), que obteve 100% de controle do volume de escoamento para um período de monitoramento de até 33 meses.

Ao considerar a integração de todas as medidas instaladas no lote, ou seja, trincheira de infiltração com poço profundo, telhado verde com reservatório de acumulação e caixa de escoamento sucessivo à trincheira, foi possível estimar o índice de eficiência global na retenção do escoamento. A partir das análises anteriores e considerando que a área total do lote é a soma da área de contribuição das medidas instaladas, obteve-se uma eficiência global de até 80% em comparação arado com um sistema de caráter convencional, sem medidas de controle do escoamento na fonte geradora.

Portanto, as análises individuais e a sua respectiva integração global referente ao comportamento hidrológico a partir da instalação de um sistema não convencional

permitiram concluir uma efetiva redução do controle da poluição hídrica em níveis quantitativos, visto as eficiências apresentadas em comparação com modelos convencionais.

Objetivo precípua 1: Quantificar, utilizando-se de monitoramento, os volumes de reservação d'água a partir de medidas não convencionais, como trincheira de infiltração, telhado verde, biodigestor e poço de infiltração profundo instalados em lote urbano domiciliar.

O monitoramento dos níveis d'água em cada uma das medidas instaladas estimou os volumes de reservação incorporados no lote. O quantitativo apresentado pode fornecer indicadores para o uso racional da água e permitir, por exemplo, uma maior conscientização quanto à necessidade da adoção de medidas eficientes relativas à reservação d'água na própria fonte de poluição.

A instalação de uma estação meteorológica localizada no próprio local com dados de monitoramento on-line possibilitou reduzir as incertezas hidrológicas quanto às disparidades regionais dadas pelos eventos de chuva. Embora existam dificuldades na manutenção e na operação do sistema de informatização devido ao processo de transferência *upload* dos dados para o servidor — queda de energia, interrupções por mudanças na rede operacional e lentidão do sistema —, a coleta dos dados foi validada em função dos resultados obtidos e da calibração dos equipamentos.

Foram realizadas análises a partir do monitoramento instalado nos seguintes dispositivos ou medidas: poço de infiltração profundo com escoamento subterrâneo, poço subsuperficial com monitoramento de fundo de cota de uma trincheira de infiltração,

telhado verde com reservatório de acumulação do escoamento subsuperficial e caixa de saída do escoamento superficial.

Reservação de água na trincheira de infiltração

A metodologia de cálculo para o dimensionamento da trincheira de infiltração a partir do modelo de Philip foi atendida, apesar de sua execução superdimensionada. Devido ao espaço físico e às condições topográficas da área disponível dentro do lote, foi possível executar a trincheira com dimensões acima do calculado. Esta característica resultou em aproximadamente 80 m³ de volume infiltrado entre novembro de 2006 e março de 2007, o que correspondeu a cerca de 60% do volume total precipitado.

Reservação de água no telhado verde

A reservação d'água no telhado verde foi obtida pelo volume infiltrado de aproximadamente 7% do volume precipitado. A somatória do escoamento subsuperficial do telhado verde para o mesmo período foi estimado em 48%. A diferença entre esses valores pode ser representada pelas perdas iniciais, nas quais podem estar incluídas a evapotranspiração e as perdas decorrentes de depressões na superfície do telhado, tubulações e outros.

A taxa de escoamento em função da precipitação total, ou coeficiente de escoamento — runoff — obtido pelo telhado verde instalado no lote domiciliar, foi considerada próxima dos valores da literatura, conforme sua espessura e declividade. Enquanto neste estudo os resultados apontaram uma taxa de escoamento de aproximadamente 0,45, pesquisas produzidas por FLL (2002, *apud* NGAN, 2004) indicaram um coeficiente médio de 0,40 para telhados verdes de até 15° de inclinação e espessura entre 10 e 15 cm.

De acordo com os mecanismos de geração do escoamento discutidos por BEVEN (1986), pode-se considerar com suas devidas particularidades que o telhado verde também está sujeito à influência dos diversos processos que atuam nos caminhos preferenciais das águas, no entanto, de forma subsuperficial através das hipóteses assumidas pela verticalidade das funções de entrada e de saída.

Reservatório de aproveitamento de águas pluviais

Para o pré-dimensionamento da cisterna ou do reservatório de aproveitamento de águas pluviais, pode-se concluir que as dimensões estimadas, conforme metodologia analítica de Rippl (TOMAZ, 2003), mantiveram-se dentro das expectativas previstas inicialmente, principalmente por corresponder à capacidade suporte de atendimento das condições físicas e hidrológicas do próprio lote.

O monitoramento das águas pluviais permite concluir que:

- a) utilizar medidas não convencionais de reservação d' água na própria fonte consumidora, além de contribuir na mitigação dos efeitos na drenagem, como nos problemas das inundações, serve também para potencializar diversas formas de aproveitamento, reservação e reúso de águas;
- b) o uso de áreas permeáveis no lote possibilita a recarga do aquífero e acrescenta melhorias na sua qualidade;
- c) a aplicação de tecnologias hidrológicas embutidas consegue não somente reservar a água no lote, mas também retardar ou controlar o escoamento superficial.

Biodigestor séptico para tratamento do efluente sanitário

O tratamento proposto para o efluente sanitário indicou a redução dos patogênicos, tanto pela adição da mistura recomendada pela Embrapa (KOCHMANN et al., 1999) quanto pelo tempo de exposição dos microorganismos no biodigestor séptico distribuído nas caixas de acumulação. No entanto, os resultados analisados em laboratório não foram plenamente atendidos pela Resolução Conama (BRASIL, 2005), embora tenha ocorrido naturalmente a decomposição da matéria orgânica e a redução dos coliformes fecais em mais de 99%.

Objetivo precípua 2: Avaliar o desempenho experimental das medidas não convencionais instaladas no lote domiciliar durante eventos hidrológicos naturais, não-induzidos, sob diferentes estágios sazonais.

Durante o período de coleta dos dados, após a instalação do experimento incorporado no lote, o monitoramento das medidas não convencionais obteve resultados satisfatórios quanto à sua funcionalidade e operação. Todas as análises partiram de eventos hidrológicos naturais, exceto na calibração dos equipamentos.

A sazonalidade do período de coleta selecionado, principalmente devido a ser considerado o período de maior representatividade hidrológica, demonstrou que o experimento está apto para receber intempéries de intensidade elevada e de grande variabilidade. Considerando o período entre setembro de 2006 e março de 2007, com intensidades de até 75 mm/h em um intervalo de 25 minutos, pode-se concluir que o experimento em escala real de uso domiciliar, obteve uma avaliação técnica plenamente satisfatória, atendendo aos requisitos de operação e capacidade de suporte de atendimento. No entanto, deve-se atentar para as recomendações descritas no capítulo seguinte, referente

à manutenção e eventuais reparos devido à operação do sistema alternativo de reservação e controle do uso da água.

Todos os resultados obtidos pelo monitoramento se mostraram favoráveis, sendo determinados pela capacidade das medidas instaladas em reduzir a precipitação efetiva ou lâmina equivalente de escoamento em quase 80% da precipitação total, conforme a Figura 5.48.

Objetivo precípua 3: *Estimar a viabilidade econômica de implantação das medidas não convencionais.*

O levantamento do custo de cada medida instalada no lote foi estimado separadamente, contemplando todos os serviços realizados com fornecimento de materiais e mão-de-obra. Para todos os orçamentos constam LS de 125,29% e BDI no valor de 30%. Os valores não incluem, no entanto, a elaboração do projeto executivo e eventuais projetos estruturais. Para a conversão da moeda de reais em dólares, tem-se como referência a cotação média do dólar dos Estados Unidos da América no mês de dezembro do ano-calendário de 2005 com valor médio unitário correspondente a R\$ 2,30.

Custo do biodigestor séptico

Para a instalação completa do biodigestor são necessários conhecimentos básicos de hidráulica, uma vez que os principais materiais referem-se às conexões e acessórios, além das tubulações e caixas de acumulação. Para a execução dos serviços foram gastos uma estimativa de R\$ 1.300,00 ou US\$ 565,00, com capacidade para reservação livre de até 3.000 litros de efluente sanitário, exceto quando combinados com elementos filtrantes, como brita e areia.

Custo do telhado verde

O custo da execução do telhado verde, incluindo toda a infra-estrutura e estrutura básica para a sua sustentação, foi estimado em aproximadamente R\$ 3.100,00 ou US\$ 1.350,00. O custo exclusivo do telhado verde, desconsiderando toda a infra-estrutura e estrutura inferior, foi orçado em R\$ 1.060,00 ou US\$ 460,00. Foi levantado também o custo de um telhado convencional composto de madeiramento com tesoura e telha cerâmica paulista, previsto em R\$ 540,00 ou US\$ 235,00. Além dos custos inerentes a sua execução, estimaram-se os custos de manutenção, calculados em função da poda, irrigação nos períodos mais secos e adubação, com estimativa anual de R\$ 120,00 ou US\$ 52,00 para uma área de 9,60 m² de telhado verde.

Custo da trincheira de infiltração

O valor orçado para a trincheira de infiltração, conforme projeto executivo apresentado na Figura 4.12, foi de aproximadamente R\$ 1.100,00 ou US\$ 480,00, para uma capacidade total de reservação ou volume útil de aproximadamente 5,7 m³. Estes valores compreendem basicamente serviços de escavação, manta geotêxtil, tubos, conexões, brita de preenchimento e plantio superficial em grama. Considerando uma área de contribuição de 160 m², pode-se estimar um custo de implantação para a trincheira de aproximadamente R\$ 6,90/m² de área de drenagem efetiva ou R\$ 2,20/m² de área do lote. Para a estimativa de custo a partir da equação determinada pelo regime de chuvas da cidade de São Carlos/SP (BARBASSA, 1991), com tempo de retorno de dois anos e duração da chuva de 30 minutos, a trincheira de infiltração possui dimensões para atender até 25 mm, prevendo-se, portanto, um custo aproximado de R\$ 44,00/mm de chuva precipitado.

Custo do reservatório de aproveitamento de águas pluviais

Para a estimativa dos custos de implantação do reservatório de águas pluviais, três propostas foram levantadas, em função do tipo de material e locação do terreno. Dos orçamentos elaborados para atender um volume de 20 m³, o reservatório de menor custo foi aquele com característica aparente em material de polietileno, estimado em R\$ 8.700,00 ou US\$ 3.800,00. Os outros reservatórios avaliados foram: enterrado em concreto armado moldado *in loco* (R\$ 17.200,00 ou US\$ 7.500,00) e semi-enterrado em anéis de concreto (R\$ 10.800,00 ou US\$ 4.700,00).

Os valores estimados são superiores aos valores de referência avaliados por TOMAZ (2003), que calcula um custo aproximado de US\$ 180,00/m³ para um reservatório enterrado de concreto armado com 50 m³, e US\$ 140,00/m³ para um reservatório de fibra de vidro.

Economicamente, o usuário necessita de um investimento inicial para a implantação dessas medidas (trincheira de infiltração, telhado verde, reservatório de aproveitamento de águas pluviais e biodigestor séptico) de aproximadamente US\$ 5.500,00. Tecnicamente, as instalações foram consideradas viáveis pela sua eficiência na operação. Financeiramente, embora o valor seja relativamente elevado, as medidas possuem valor agregado ao uso da água, o que sugere enriquecer a avaliação do imóvel, principalmente pela redução e consumo controlado do recurso.

A avaliação dos custos de cada dispositivo individualmente é capaz, portanto, de fornecer parâmetros para novos usuários, tendo como possibilidade a utilização desses valores para cálculo das taxas de drenagem e IPTUs ecológicos. Para cada investimento na aplicação das medidas não convencionais por metro quadrado de área do lote, podem-se prever futuras indenizações ao proprietário a partir da criação de descontos no imposto predial.

7. RECOMENDAÇÕES

Devido à extensão do trabalho e suas respectivas condições de monitoramento e análise dos dados, tipologia dos equipamentos instalados, aporte financeiro e outros, seguem abaixo algumas recomendações para trabalhos futuros visando dar continuidade e aprimoramento científico da pesquisa sobre o sistema de reservação e reúso de águas:

- a) projeto executivo e instalação do sistema de aproveitamento de águas pluviais com respectivo monitoramento de qualidade e quantidade;
- b) desenvolvimento de um sistema de gestão integrada e descentralizada de águas urbanas, com enfoque em drenagem seletiva a partir do aproveitamento de águas pluviais;
- c) otimização do uso da trincheira a partir do aumento no diâmetro dos furos no tubo de drenagem ou descarte direto isento de tubulação longitudinal;
- d) análise e aproveitamento do biogás gerado pela digestão do processo de decomposição anaeróbica da matéria orgânica utilizada pelo biodigestor;
- e) melhoria na eficiência do tratamento do efluente sanitário, com desinfecção com cloro ou ozonização ou uso de reatores anaeróbios (decanto-digestor, filtros, mantas), bem como tratamento do lodo concentrado pela digestão;
- f) análise e reúso do efluente tratado para fertirrigação e irrigação em áreas de jardins e de uso não potável;
- g) análise foliar para determinação de macro e micronutrientes no tecido vegetal do telhado verde antes e após fertirrigação;
- h) análise laboratorial do solo existente nas laterais das caixas do biodigestor séptico para verificação de possíveis vazamentos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA); FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (Fiesp); SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE SÃO PAULO (Sinduscon-SP). **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, jun. 2005. 151 p.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (Asce); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Design and construction of urban stormwater management systems. **ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice**, New York, n. 77, 1992.

ALMEIDA NETO, P. de et al. Análise quali-quantitativo do escoamento superficial gerado pela água da chuva através de cobertura verde leve. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 6. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 18-20 mar. 2005.

ANDRADE, J. P. M. **Previsão hidrometeorológica visando sistema de alerta antecipado de cheias em bacias urbanas**. 2006. 112 p. Dissertação de mestrado. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ANDRADE FILHO, A. G. de; SZÉLIGA, M. R.; SZESZ, J. R. S. Utilização de micro-reservatórios de retenção para atenuação de inundações em bacias urbanas. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, Ponta Grossa, v. 6, n. 1, p. 47-68, 2000. Disponível em:

<<http://www.uepg.br/prosp/publicatio/exa/2000/04.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2008.

ARAÚJO, P. R. **Análise experimental da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. 1999. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7251**: agregado em estado solto: determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5626**: projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 2005.

_____. Comissão de Estudo Especial Temporária de Manejo Florestal. Comissão de Estudo Especial Temporária de Aproveitamento de Água de Chuva. **Projeto 00.001.77-001**: aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, jan. 2007.

AZZOUT, Y; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. **Techniques alternatives en assainissement pluvial: choix, conception, réalisation et entretien**. Paris: Lavoisier, 1994. 372 p.

BARBASSA, A. P. **Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial na cidade de São Carlos**. 1991, 327 p. Tese de doutorado. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

_____. Monitoramento pluviométrico e de escoamento superficial em áreas urbanas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS. 1997, Santa Fé. **Anais do Seminário Internacional de Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Santa Fé, 1997. v. 1.

BATISTA, M.; CABRAL, J. R.; NASCIMENTO, N.; PORTELA, R. Utilização combinada de tecnologias compensatórias no projeto de um sistema de drenagem urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS (Enau), 6. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 18-20 mar. 2005.

BETTES, R. Infiltration drainage: manual of good practice. **Construction Industry Research and Information Association Report**, London, 1996. 107 p.

BEVEN, K. Runoff production and flood frequency in catchments of order n: an alternative approach. In: GUPTA, V; RODRÍGUEZ-ITURBE, I; WOOD, E. (ed.). **Scale Problems in Hydrology**. Dordrecht: Reidel, 1986. p. 107-132.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Estabelece as condições para implantação, manutenção e operação de estações fluviométricas e pluviométricas

associadas a empreendimentos hidrelétricos. Resolução nº 396/98, 4 de dezembro de 1998.

Diário Oficial, Brasília, v. 136, n. 234 - E, seção 1, p. 47, 7 dez. 1998.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução nº 357, 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, mar. 2005.

_____. Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Dispõe sobre as diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, jan. 2007.

BUILDING LOGICS. **Envirotech roof systems**. Virginia Beach, VA 23452, 1033 Downshire Chase, 2002. Disponível em: <<http://www.buildinglogics.com/enviro.html>>. Acesso em: 29 jan. 2007.

CAMPITELI, V. C.; SILVA, N. G. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO (Entac), 11. Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (Antac), 23-25 ago. 2006. 10 p.

CAMPOS, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Prosab); São Carlos: RiMa Artes e Textos, 1999.

CANÇADO, V. L.; NASCIMENTO, N.; CABRAL, J. R. Cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais: bases conceituais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 2, n. 1, p. 5-21, jan.-jun. 2005.

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

COSTA, Fabiano. Arquitetura ecológica. **Jornal Zero Hora**, Porto Alegre, 29 jun. 2006. Caderno Ambiente.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 3. n. 4, p. 19-31, out-dez 1998.

CUNHA, A. R. **Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves (CVL)**. São Carlos: Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, set. 2004, 41 p. Disponível em:

<<http://www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica/..%5C..%5Cpessoal%5Cdocentes%5Ctechnotes%5C31%5CAra-FAPESP-2004-Relat-final.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2008.

DANIEL, L. A. (coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Prosab); São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2001.

DETAY, M; DUMOUTIER, N.; HAEFNER, H; VIGNIER, V. Incidence de la réalimentation artificielle, de nappe sur la qualité de la ressource. In: COLLOQUE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE INTERNATIONAL, 1994, Marseille, Hydrotop.

E-DEUTSCHE INDUSTRIE NORMEN (E-DIN). **Sistemas de aproveitamento de águas pluviais**: planejamento, execução, operação e manutenção. Tradução Jack Sickermann. Alemanha, 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Embrapa apresenta Fossa Biodigestora na AveSui 2004**. São Carlos. Disponível em:

<http://www.cnpdia.embrapa.br/menutop_imprensa_avessui.html>. Acesso em: 9 set. 2004.

ENVIRONMENTAL SERVICES - CITY OF PORTLAND (ESCP). **Maintaining your stormwater management facility**: home owner handbook. Bureau of Environmental Services, Portland, 200?. Disponível em:

<<http://www.portlandonline.com/shared/cfm/image.cfm?id=65926>>. Acesso em: 15 jun. 2008.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS (EESC). Universidade de São Paulo. Experimento piloto de gerenciamento integrado de bacias urbanas para o Plano Diretor de

São Carlos. Projeto nº 38, 2002. **Edital de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**, Brasília: Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), Ministério da Ciência e da Tecnologia, 2002.

FEIJÓ, J. M. L. **Ecotelhado**. 2006. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/>>. Acesso em: 9 fev. 2007.

FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. **Building and Environment**, v. 34, p. 765-772, 1999.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG

LANDSCHAFTSBAU (FLL). **Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen**. Bonn, 2002.

FOUFOULA-GEORGIOU, E; KRAJEWSKI, W. Recent advances in rainfall modeling, estimation and forecasting. **Reviews of Geophysics**, Supplement, p. 1.125-1.137, jul. 1995.

FUCHS, L. Comparison of renovation alternatives for urban storm sewers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE. **Proceedings**, Göteborg: Chalmers University of Technology, v. 3, p. 1.181-1.190, 1984.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (FCTH). **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. Reedição eletrônica. Prefeitura do Município de São Paulo, abr. 1999, 289 p. Disponível em:

<<http://www.fcth.br/public/cursos/canaismares/md.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2008.

GASH, J. H. C.; ROSIER, P.; RAGAB, R. A note on estimating urban roof runoff with a forest evaporation model. **Hydrological Process**, v. 22, p. 1.230-1.233, jan. 2007.

GAUTIER, A. **Contribution a la connaissance du fonctionnement d'ouvrages d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial urban**. 1998. 251 p. Tese de Doutorado. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, 1998.

GENZ, F. **Parâmetros para previsão e controle de cheias urbanas**. 1994. 140 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, set. 1994.

GNADLINGER, J. Captação de água de chuva para uso doméstico e produção de alimentos: a experiência no estado de Gansu no norte da China. In: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 3. 21-23 nov. 2001, Campina Grande: Associação Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva; Instituto Regional da Pequena Agropecuária, Seção Água e Clima, 2001.

GÓIS JÚNIOR, E; LOVISOLO, H. R. Descontinuidades e continuidades do movimento higienista no Brasil do século XX. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 41-54, set. 2003.

GONÇALVES, R. F. (coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico; São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2003. 438 p.

GHANAYEM, M. Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. **Rainwater International Systems**, Manheim: Proceedings, p. 11, 2001.

GRACIOSA, M. C. P. **Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana**: modelagem experimental e numérica. 2005. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

GRACIOSA, M. C. P. et al. Avaliação da eficiência de trincheiras de infiltração como dispositivos de controle na origem das águas pluviais urbanas: considerações técnicas de dimensionamento para planos diretores. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16. João Pessoa: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, nov. 2005. 12 p.

_____. Monitoramento de uma trincheira de infiltração instalada em lote residencial para controle do escoamento superficial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, nov 2007. 12 p.

GREENBERG, A. et al. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21^a ed. Washington: American Public Health Association, 2005. 1.368 p.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003, 579 p.

HEWLETT, J.; HIBBERT, A. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: SOPPER, W.; LULL, H. (ed.). **International Symposium on Forest Hydrology**: Proceedings, New York: Pergamon, 1967. p. 275-290.

HEWLETT, J.; TROENDLE, C. Non-point and diffused water sources: a variable source area problem. In: SYMPOSIUM ON WATERSHED MANAGEMENT, New York, 1975. **Proceedings**, New York, Asce, p. 65-83, 1975.

HOCHMAN, G. **A era do saneamento**. São Paulo: Hucitec, 1998.

HOFKES, M. W.; FRAZIER, J. G. Runoff coefficients. In: PACEY, A; CULLIS, A. **Rainwater harvesting**. London: Intermediate Technology Publications, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas das populações residentes, em 01.07.2006, segundo os municípios**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_Projecoes_Populacao/Estimativas_2006/>. Acesso em: 18 fev 2007.

ISHIZAKI, K; IMBE, M.; NI, G.; TAKESHIMA, M. Background of rainwater infiltration technology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 7. Hannover: Proceedings, p. 377-382, 1996.

JARDINS Suspensos da Babilônia. In: **Wikipedia**: a enciclopédia livre. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Jardins_suspensos_da_Babil%C3%B4nia>. Acesso em: 4 jan. 2007.

JOHNSTON, J.; NEWTON, J. **Building green**: a guide to using plants on roofs, walls and pavements. London: Greater London Authority, 2004.

JONES, A. Soil piping and stream channel initiation. **Water Resources Research**, v. 7, n. 3, p. 602-610, 1971.

JONNASON, S. A. Dimensioning methods for stormwater infiltration systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORMWATER, 3. 1984, Göteborg. **Proceedings**. Göteborg: Chalmers University of Technology., v. 3, p. 1.037-1.046, 1984.

KHAN. **Domestic roof water harvesting technology in thar desert**. India, 2001. In: TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora, mai 2003. 180 p.

KIRBY, J. R. Green roofs: understanding the waterproofing aspects. **The Green Roof Infrastructure Monitor**. Toronto, vol. 8, n^o 1, p. 9, spring 2006. Disponível em: <http://www.greenroofs.org/resources/GRIM_Spring2006.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2007.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. É necessária a descontinuidade do sistema plantio direto após dez anos de adoção?: introdução. **Comunicado Técnico Online**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa),

n. 43, dez. 1999. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co43.htm>. Acesso em: 15 jun. 2008.

KOENIG, K. W. Rainwater Harvesting: public need or private pleasure. **Water 21**, London: IWA Publishing, p. 56-58, fev. 2003.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; SICKERMANN, J. **Greened roofs and the technique of water harvesting: a synergistic combination**. Neubrandenburg University of Applied Sciences, Neubrandenburg, 2003

KOLB, W. Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 4. 2003, Juazeiro. **Anais eletrônicos**, , 2003. 1 CD-ROM.

LI, F. et al. Rainwater harvesting agriculture: an integrated system for water management on rainfed land in China's semiarid areas. **Ambio**, Stockholm, v. 29, n.8, dez. 2000. Disponível em:

<<http://ambio.allenpress.com/perlserv/?request=get-document&doi=10.1639%2F0044-7447%282000%29029%5B0477%3ARHAAIS%5D2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 21 jun. 2008.

LIMA, M. P. **Comportamento crítico de coberturas verdes leves**. 2005. Trabalho de iniciação científica. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

LINZ. **Grünflächenplan der Stadt Linz 2001**. Available from Magistrat der Landeshauptstadt Linz, Planungsamt, 2002.

LOPES, D. A. R. **Comparação do comportamento térmico de Coberturas Verdes Leves (CVL) com coberturas tradicionais**. 2006, 63 p. Exame de qualificação. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MAGALHÃES JR., A. P. M. A situação do monitoramento das águas no Brasil: instituições e iniciativas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, jul.-set. p. 113-135, 2000.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. 579 p.

MARTINS, M. J. **Gerenciamento de recursos hídricos e drenagem urbana no município de São João de Meriti**: análise espacial do efeito da implementação de microreservatórios em lotes sobre as inundações. 2004. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ago. 2004.

MAURER, E. Förderungen von Dachbegrünungen in der Landeshauptstadt Linz (Oberösterreich). In: GRÜNDACHSYMPOSIUM, Ditzingen, 2004. **Proceedings**, Europäische Föderation der Bauwerksbegrünungsverbände - Fachvereinigung Bauwerksbegrünung, p. 12-15, 25 mar. 2004.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004, 159 p. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

McCUEN, R. H; MOGLEN, G. E. Multicriterion stormwater management methods. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 114, n. 4, p. 414-431, jul. 1988.

MENDIONDO, E. M. **Gestão aplicada de incertezas hidrológicas**. Disciplina de pós-graduação SHS 5851, Hidrologia Avançada, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. Escalas hidrológicas II: diversidade de processos na bacia vertente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 59-122, 1997.

MIKKELSEN, P. S.; JACOBSEN, P. Stormwater infiltration design based on rainfall statistics and soil hydraulics. In: AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENGINEERING HYDROLOGY, San Francisco, 25-30 jul. 1993, p. 653-658.

MIKKELSEN, P. S.; JACOBSEN, P.; FUJITA, S. Infiltration practice for control of urban stormwater. **Journal of Hydraulic Research**, v. 34, n. 6, p. 827-840, 1996.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; SOUZA, V. C. B. Sistema HIDROURB para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem urbana: parte 1, conceitos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12. 1997, Vitória. **Anais**, v. 3, p. 669-676, 1997.

NGAN, G. **Green roof policies: tools for encouraging sustainable design**. Ottawa: Landscape Architect Canada Foundation, 2004, 49 p. Disponível em: <http://urbanag_networx.iwpp0.com/Green%20Roof%20Policies.pdf>. Acesso em: 2 fev 2007.

NOVAES, A. P. de et al. Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica. **Comunicado Técnico**. São Carlos: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, n. 46, 2003. 14 p. Disponível em: <http://www.cnpdia.embrapa.br/publicacoes/download.php?file=CT46_2002.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2008.

OHNUMA JR., A. A. **Cenários de reúso de água pluvial e controle da drenagem visando a recuperação ambiental da micro-bacia do alto Tijuco Preto, São Carlos-SP**. Dissertação de mestrado. 2005. Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, fev. 2005.

O'LOUGHLIN, G.; BEECHAM, S.; LEES, S. et al. On-site stormwater detention systems in Sydney. **Water Science Technology**, v. 32, n. 1, p. 169-175, 1995.

OLSEN, J. E.; LARSEN, H. E. Bacterial decimation times in anaerobic digestions of animal slurries. **Biological Wastes**, v. 21, n. 3, p. 153-68, 1987.

PACEY, A; CULLIS, A. **Rainwater harvesting**. London: Intermediate Technology Publications, 1996.

PAIVA, E. M. C. D. Rede de monitoramento hidrológico. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 625 p.

PIMENTEL, L. et al. HIDROCIDADE: Métodos Não Convencionais na Conservação da Água em Bacias Peri-Urbanas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS (Enau), 8. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 10-14 nov. 2008.

PINI. **Tabela de composição de preços orçamentários**. São Paulo: PINI, 2003. 1 CD-Rom.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan.-mar. 2000.

PORSCHÉ, U; KÖHLER, M. Life cycle costs of green roofs: a comparison of Germany, USA, and Brazil. In: RIO 3: WORLD CLIMATE & ENERGY EVENT. 1-5 dez. 2003, Rio de Janeiro, p. 461-467.

RABINBACH, A. **The human motor: energy, fatigue, and the origins of the modernity.** Los Angeles: University of California Press, 1992.

RAGAB, R.; BROMLEY, J.; ROSIER, P.; COOPER, J. D.; GASH, J. H. C. Experimental study of water fluxes in a residential area 1. Rainfall, roof runoff and evaporation: the effect of slope and aspect. **Hydrological Process**, v. 17, p. 2.409-2.422, 2003.

RAGAB, R.; ROSIER, P.; DIXON, A.; BROMLEY, J.; COOPER, J. D. Experimental study of water fluxes in a residential area 2. Road infiltration, runoff and evaporation. **Hydrological Process**, v. 17, 2.423-2.437, 2003a.

RAUDKIVI, A. **Hidrology.** Oxford: Pergamon, 1979. 479 p.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. Avaliação de poço de infiltração de água pluvial como sistema de drenagem na fonte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 6. 18-20 mar. 2005, Belo Horizonte.

RUSKIN, R. H. Coleta de água em cisternas. **Revista Água LatinoAmérica**, parte 2, p. 22-26, set-out. 2001.

SANTOS, D. C. **Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002.

SÃO Carlos (São Paulo). In: **Wikipedia**: a enciclopédia livre. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Geografia_de_S%C3%A3o_Carlos>. Acesso em: 18 fev 2007.

SÃO CARLOS. **Lei nº 13.691, de 25 de novembro de 2005**. Institui o Plano Diretor do Município de São Carlos e dá outras providências. São Carlos, 72 p.

SCHMIDT, M. **Captação de água de chuva na Alemanha**: novos conceitos de substituição de água potável, controle de enchente e melhora da qualidade da água superficial. Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung, 2003. Disponível em: <www.tu-berlin.de/~Wasserhaushalt>. Acesso em: 15 fev. 2007.

SCHOKEN-ITURRINO, R. P. et al. Biodigestores contínuos: isolamento de bactérias patogênicas no efluente. **Engenharia Agrícola**, Campinas, v. 15, p. 105-108, 1995.

SCHUELER, T. R. **Controlling urban runoff**: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington: Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (Semads). **Enchentes no estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, v. 8, 2001. Disponível em: <<http://www.serla.rj.gov.br/planagua/pdf/publi8.zip>>. Acesso em: 21 jun. 2008.

SILVA, O. J. **Captação de águas pluviais na cidade de Campina Grande - PB:** alternativa para uma política de enfrentamento da escassez de água nas escolas públicas. 2003. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2003.

SOARES, C. L. **Educação física:** raízes européias e Brasil. 2^a ed. Campinas: Autores Associados, 2001.

SOARES, D. A. F. et al. **Sizing a rainwater reservoir to assist toilet flushing.** In: CIB W62 2000 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS. 2000, Rio de Janeiro. **Technical Proceedings**, Rio de Janeiro, v. 1, p. D11-1D1-12, 2000.

SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). Engineering handbook: section 4 - hidrology. **United States Department of Agriculture Supplement A**, Washington, 1957.

_____. Urban hydrology for small watersheds.: . **United States Department of Agriculture Technical Release**, Washington, n. 55, 1975.

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

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.** São Paulo: Navegar Editora, mai 2003. 180 p.

TUCCI, C. E. M. A necessidade do planejamento da drenagem urbana. **Revista Rio Águas**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 36-37, 1999.

_____. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, v. 5, n. 1, p. 61-68, jan.-mar. 2000.

_____. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2^a ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH, 2001.

_____. **Gestão das inundações urbanas**. Porto Alegre: Global Water Partnership: Unesco, jun. 2005. 197 p. Disponível em:

<<http://www.aveagua.org/Manual%20Gestion%20de%20Inundaciones%20Urbanas.pdf>>.

Acesso em: 22 jun. 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (Usepa). **Guidelines for water reuse**. Municipal Support Division, Office of Wastewater Management, Washington, set. 2004. Disponível em:

<<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2007.

UPPER PARRAMATTA RIVER CATCHMENT TRUST (UPRCT). **What is on-site stormwater detention?** Sydney, jun. 2005. Disponível em:

<http://www.uprct.nsw.gov.au/flood_mitigation/publications/What_is_OSD.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2006.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater**: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. New Jersey, Englewood Cliff: Prentice Hall, 1993. 447 p.

VASCONCELOS, A. F. **Estudos da potencialidade de uso da água pluvial para diferentes superfícies de captação e da otimização do processo de reservação seletiva automática**. Monografia do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo (USP). Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. São Carlos, 2008. 90 p

VICKERS, A. **Handbook of water use and conservation**. Massachusetts: Waterplow Press, ago. 2001. 446 p.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. Urban wastewater treatment technologies and implementation of discharge standards in developing countries. **Urban Water**. v. 4, n. 1, p. 105-114, mar. 2002.

WEYMAN, D. Throughflow on hillslopes and its relation to the stream hydrograph. **Bulletin of International Association of Scientific Hydrology**, v. 15, n. 2, p. 25-33, 1970.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente do Governo de São Paulo, 1978.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards. **Report of a WHO Meeting of Experts**, Technical Report Series, Geneva, n. 517, 1973.

YAMAGATA, H.; OGOSHI, M. On-site insight into reuse in Japan. **Water 21**, London: IWA Publishing, ago. 2002.

3P TECHNIK DO BRASIL. **Como funciona o aproveitamento das águas pluviais?** Disponível em: <<http://www.agua-de-chuva.com/>>. Acesso em: 25 mar. 2007.

ANEXOS

ANEXO 1: DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA

Cenário (a), que consta de demanda com volume de descarga sanitária e área de cobertura atual

Meses	Chuva média [mm]	Demanda constante [m ³]	Demanda acumulada [m ³]	Área de captação [m ²]	Volume de chuva [m ³]	Volume de chuva acumulado [m ³]	Diferença entre demanda e volume de chuva [m ³]	Diferença acumulada [m ³]
Janeiro	270,1	12,4	12,4	82,8	17,9	17,9	□5,5	
Fevereiro	209,6	12,4	24,9	82,8	13,9	31,8	□1,4	
Março	169,6	12,4	37,3	82,8	11,2	43,0	1,2	1,2
Abril	85,7	12,4	49,7	82,8	5,7	48,7	6,8	8,0
Maiο	65,6	12,4	62,1	82,8	4,3	53,0	8,1	16,0
Junho	44,8	12,4	74,6	82,8	3,0	56,0	9,5	25,5
Julho	32,2	12,4	87,0	82,8	2,1	58,1	10,3	35,8
Agosto	32,0	12,4	99,4	82,8	2,1	60,2	10,3	46,1
Setembro	80,6	12,4	111,9	82,8	5,3	65,6	7,1	53,2
Outubro	128,8	12,4	124,3	82,8	8,5	74,1	3,9	57,1
Novembro	168,4	12,4	136,7	82,8	11,1	85,2	1,3	58,4
Dezembro	244,1	12,4	149,1	82,8	16,2	101,4	□3,7	
		149,1			101,4		Volume final	58,4

Cenário (b), que consta de demanda sem volume de descarga sanitária e área de cobertura atual

Meses	Chuva média [mm]	Demanda constante [m³]	Demanda acumulada [m³]	Área de captação [m²]	Volume de chuva [m³]	Volume de chuva acumulado [m³]	Diferença entre demanda e volume de chuva [m³]	Diferença acumulada [m³]
Janeiro	270,1	7,3	7,3	82,8	17,9	17,9	□10,6	
Fevereiro	209,6	7,3	14,6	82,8	13,9	31,8	□6,6	
Março	169,6	7,3	21,9	82,8	11,2	43,0	□3,9	
Abril	85,7	7,3	29,2	82,8	5,7	48,7	1,6	1,6
Maio	65,6	7,3	36,5	82,8	4,3	53,0	3,0	4,6
Junho	44,8	7,3	43,8	82,8	3,0	56,0	4,3	8,9
Julho	32,2	7,3	51,1	82,8	2,1	58,1	5,2	14,1
Agosto	32,0	7,3	58,4	82,8	2,1	60,2	5,2	19,3
Setembro	80,6	7,3	65,7	82,8	5,3	65,6	2,0	21,3
Outubro	128,8	7,3	73,0	82,8	8,5	74,1	□1,2	20,0
Novembro	168,4	7,3	80,4	82,8	11,1	85,2	□3,8	
Dezembro	244,1	7,3	87,7	82,8	16,2	101,4	□8,9	
	1.531,4	87,7			101,4		Volume final	21,3

Cenário (c), que consta de demanda com volume de descarga sanitária e área de cobertura atual mais a área futura de ampliação

Meses	Chuva média [mm]	Demanda constante [m³]	Demanda acumulada [m³]	Área de captação [m²]	Volume de chuva [m³]	Volume de chuva acumulado [m³]	Diferença entre demanda e volume de chuva [m³]	Diferença acumulada [m³]
Janeiro	270,1	12,4	12,4	142,9	30,9	30,9	□18,4	
Fevereiro	209,6	12,4	24,9	142,9	24,0	54,8	□11,5	
Março	169,6	12,4	37,3	142,9	19,4	74,2	□7,0	
Abril	85,7	12,4	49,7	142,9	9,8	84,0	2,6	2,6
Maio	65,6	12,4	62,1	142,9	7,5	91,5	4,9	7,6
Junho	44,8	12,4	74,6	142,9	5,1	96,6	7,3	14,9
Julho	32,2	12,4	87,0	142,9	3,7	100,3	8,7	23,6
Agosto	32,0	12,4	99,4	142,9	3,7	104,0	8,8	32,4
Setembro	80,6	12,4	111,9	142,9	9,2	113,2	3,2	35,6
Outubro	128,8	12,4	124,3	142,9	14,7	127,9	□2,3	33,3
Novembro	168,4	12,4	136,7	142,9	19,2	147,1	□6,8	26,5
Dezembro	244,1	12,4	149,1	142,9	27,9	175,0	□15,5	11,0
	1.531,4	149,1			175,0		Volume final	35,6

Cenário (d), que consta de demanda sem volume de descarga sanitária e área de cobertura atual mais a área futura de ampliação

Meses	Chuva média [mm]	Demanda constante [m³]	Demanda acumulada [m³]	Área de captação [m²]	Volume de chuva [m³]	Volume de chuva acumulado [m³]	Diferença entre demanda e volume de chuva [m³]	Diferença acumulada [m³]
Janeiro	270,1	7,3	7,3	142,9	30,9	30,9	□23,6	
Fevereiro	209,6	7,3	14,6	142,9	24,0	54,8	□16,7	
Março	169,6	7,3	21,9	142,9	19,4	74,2	□12,1	
Abril	85,7	7,3	29,2	142,9	9,8	84,0	□2,5	
Maio	65,6	7,3	36,5	142,9	7,5	91,5	□0,2	
Junho	44,8	7,3	43,8	142,9	5,1	96,6	2,2	2,2
Julho	32,2	7,3	51,1	142,9	3,7	100,3	3,6	5,8
Agosto	32,0	7,3	58,4	142,9	3,7	104,0	3,6	9,5
Setembro	80,6	7,3	65,7	142,9	9,2	113,2	□1,9	7,6
Outubro	128,8	7,3	73,0	142,9	14,7	127,9	□7,4	0,1
Novembro	168,4	7,3	80,4	142,9	19,2	147,1	□11,9	
Dezembro	244,1	7,3	87,7	142,9	27,9	175,0	□20,6	
	1.531,4	87,7			175,0		Volume final	9,5

ANEXO 2: ORÇAMENTO PARA BIODIGESTOR*

Planilha orçamentária de custo de materiais do biodigestor (valores expressos em reais)

Item	Descrição do material	Quant.	Unid.	Fornecedor 1		Fornecedor 2	
				Unit.	Custo	Unit.	Custo
1	Caixa de amianto (1.000 L)	3	pç	217,00	651,00	195,00	585,00
2	Tubo de PVC (100 mm)	6	m	7,20	43,20	5,15	30,90
3	Válvula de retenção (100 mm)	1	pç	81,00	81,00	47,00	47,00
4	Curva de 90° curta (100 mm)	2	pç	9,25	18,50	7,22	14,44
5	Luva de PVC (100 mm)	3	pç	3,10	9,30	2,33	6,99
6	Tê de inspeção de PVC (100 mm)	2	pç	27,00	54,00	25,00	50,00
7	O'ring (100 mm)	10	pç	2,10	21,00	1,23	12,30
8	Tubo de PVC (25 mm)	2	m	1,90	3,80	1,40	2,80
9	Cap de PVC (25 mm)	2	pç	0,85	1,70	0,32	0,64
10	Flange de PVC (25 mm)	2	pç	8,20	16,40	4,50	9,00
11	Flange de PVC (50 mm)	1	pç	17,20	17,20	9,10	9,10
12	Tubo de PVC (50 mm)	1	m	7,10	7,10	3,11	3,11
13	Registro de esfera de PVC (50 mm)	1	pç	32,00	32,00	22,50	22,50
14	Cola de silicone (300 g)	2	tb	14,50	29,00	10,80	21,60
15	Borracha de vedação (15 × 15 mm)	25	m	2,85	71,25	2,55	63,75
16	Pasta lubrificante (400 g)	1	tb	9,25	9,25	8,85	8,85
17	Adesivo para PVC (100 g)	1	tb	3,85	3,85	2,06	2,06
18	Neutrol	1	litro	6,90	6,90	6,85	6,85
19	Lixa comum (nº 100)	2	unid.	0,70	1,40	0,50	1,00
TOTAL				R\$	1.077,85	R\$	897,89

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

ANEXO 3: ORÇAMENTO DO TELHADO VERDE INSTALADO NO LOTE*

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	FUNDAÇÕES				
1.1	Escavação manual	0,86	m ³	10,95	9,41
1.2	Apiloamento de fundo de valas	0,86	m ³	5,05	4,34
1.3	Reaterro apiloado de valas	4,29	m ²	13,33	57,17
1.4	Lastro de brita	0,29	m ³	55,22	16,01
1.5	Lastro de concreto	0,09	m ³	226,00	20,34
1.6	Broca de concreto armado d = 25 cm	8,00	m	20,77	166,19
1.7	Concreto armado fck = 15 mpa p/ vigas baldrame	0,51	m ³	705,79	359,95
	Custo do item			R\$	633,42
2	ESTRUTURA				
2.1	Concreto armado fck = 15 mpa p/ pilares e vigas	1,08	m ³	852,87	921,10
2.2	Laje pré-fabricada p/ piso	9,60	m ²	56,60	543,36
	Custo do item			R\$	1.464,46
3	REVESTIMENTO				
3.1	Chapisco em paredes	7,65	m ²	2,38	18,21
3.2	Reboco massa única para pintura	7,65	m ²	12,57	96,16
	Custo do item			R\$	114,37
4	IMPERMEABILIZAÇÃO				
4.1	Regularização de superfície para impermeabilização	9,60	m ²	24,06	230,98
4.2	Impermeabilização de jardineiras	9,60	m ²	17,45	167,52
4.3	Impermeabilização de alvenaria de embasamento	11,44	m ²	13,57	155,24
	Custo do item			R\$	553,74
5	PINTURA				
5.1	Látex acrílico duas demãos em paredes	7,65	m ²	24,06	184,06
	Custo do item			R\$	184,06
6	VEGETAÇÃO E LIMPEZA				
6.1	Plantio de vegetação com adubo e terra	9,60	m ²	12,50	120,00
6.2	Limpeza final	1,00	vb	35,00	35,00
	Custo do item				155,00
	CUSTO TOTAL			R\$	3.105,04

ANEXO 4: ORÇAMENTO DO TELHADO VERDE x TELHADO CONVENCIONAL

Telhado verde

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	ESTRUTURA DO TELHADO VERDE				
1.1	Laje pré-fabricada p/ piso	9,60	m ²	56,60	543,36
	Custo do item			R\$	543,36
2	IMPERMEABILIZAÇÃO				
2.1	Regularização de superfície para impermeabilização	9,60	m ²	24,06	230,98
2.2	Impermeabilização de jardineiras	9,60	m ²	17,45	167,52
	Custo do item			R\$	398,50
3	VEGETAÇÃO				
3.1	Plantio de vegetação com adubo e terra	9,60	m ²	12,50	120,00
	Custo do item			R\$	120,00
	CUSTO TOTAL			R\$	1.061,86
	CUSTO TOTAL			US\$	461,70

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

Telhado convencional com telha cerâmica

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	ESTRUTURA DO TELHADO CONVENCIONAL				
1.2	Madeiramento c/ tesouras p/ telha cerâmica	9,60	m ²	37,35	358,56
	Custo do item			R\$	358,56
2	TELHA				
2.1	Telha cerâmica paulista	9,60	m ²	18,76	180,10
	Custo do item			R\$	180,10
	CUSTO TOTAL			R\$	538,66
	CUSTO TOTAL			US\$	234,20

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

ANEXO 5: ORÇAMENTO PARA TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	SERVIÇOS PRELIMINARES				
1.1	Escavação manual	6,17	m ³	10,95	67,54
1.2	Apiloamento de fundo de valas	8,82	m ²	5,05	44,56
1.3	Brita nº 3	6,17	m ³	55,22	340,71
1.4	Transporte de terra	6,17	m ³	9,15	56,46
	Custo do item			R\$	509,26
2	REVESTIMENTOS E ACESSÓRIOS				
2.1	Manta geotêxtil	30,60	m ²	3,70	113,22
2.2	Plantio em grama	11,70	m ²	4,80	56,16
2.3	Tubos e conexões em PVC	44,20	m	9,51	420,34
	Custo do item			R\$	589,72
3	LIMPEZA FINAL				
3.1	Limpeza final	1,00	vb	15,00	15,00
	Custo do item			R\$	15,00
	CUSTO TOTAL			R\$	1.113,98
	CUSTO TOTAL			US\$	484,33

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

ANEXO 6: ORÇAMENTO PARA RESERVATÓRIO R1 EM CONCRETO ARMADO MOLDADO IN LOCO COM 8M³

DIMENSÕES: 1,20 × 1,60 × 4,20 m

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	FUNDAÇÕES				
1.1	Escavação manual	10,58	m ³	77,61	821,11
1.2	Apiloamento de fundo de valas	2,00	m ³	5,05	10,10
1.3	Reaterro apiloado de valas	2,58	m ²	13,33	34,38
1.4	Lastro de brita	0,10	m ³	55,22	5,52
1.5	Lastro de concreto	0,10	m ³	226,00	22,60
1.6	Broca de concreto armado d = 25 cm	10,00	m	20,77	207,73
	Custo do item			R\$	1.101,45
2	ESTRUTURA				
2.1	Concreto armado fck = 20 mpa p/ reservatório	3,80	m ³	852,87	3.240,91
2.2	Laje pré-fabricada p/ piso (tampa)	2,00	m ²	56,60	113,20
	Custo do item			R\$	3.354,11
3	IMPERMEABILIZAÇÃO				
3.1	Regularização de superfície para impermeabilização	35,00	m ²	24,06	842,10
3.2	Impermeabilização de cisternas	35,00	m ²	51,50	1.802,50
	Custo do item			R\$	2.644,60
4	LIMPEZA FINAL				
4.1	Limpeza final	1,00	vb	60,00	60,00
	Custo do item			R\$	60,00
	CUSTO TOTAL			R\$	7.160,16
	CUSTO TOTAL			US\$	3.113,04

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

ANEXO 7: ORÇAMENTO PARA RESERVATÓRIO R2 EM CONCRETO ARMADO MOLDADO IN LOCO COM 12M³

DIMENSÕES: 2,00 × 2,00 × 3,00 m

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	FUNDAÇÕES				
1.1	Escavação manual	14,52	m ³	77,61	1.126,90
1.2	Apiloamento de fundo de base	4,00	m ³	5,05	20,21
1.3	Reaterro apiloado de valas	2,52	m ²	13,33	33,58
1.4	Lastro de brita	0,20	m ³	55,22	11,04
1.5	Lastro de concreto	0,20	m ³	226,00	45,20
1.6	Broca de concreto armado d = 25 cm	15,00	m	20,77	311,60
	Custo do item			R\$	1.548,53
2	ESTRUTURA				
2.1	Concreto armado fck = 20 mpa p/ reservatório	4,20	m ³	852,87	3.582,05
2.2	Laje pré-fabricada p/ piso (tampa)	4,00	m ²	56,60	226,40
	Custo do item			R\$	3.808,45
3	IMPERMEABILIZAÇÃO				
3.1	Regularização de superfície para impermeabilização	35,00	m ²	24,06	842,10
3.2	Impermeabilização de cisternas	35,00	m ²	51,50	1.802,50
	Custo do item			R\$	2.644,60
4	LIMPEZA FINAL				
4.1	Limpeza final	1,00	vb	60,00	60,00
	Custo do item			R\$	60,00
	CUSTO TOTAL			R\$	8.061,58
	CUSTO TOTAL			R\$	3.504,68

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

ANEXO 8: ORÇAMENTO PARA RESERVATÓRIO EM POLIETILENO

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	SERVIÇOS PRELIMINARES				
1.1	Apiloamento de fundo de base	11,00	m ³	5,05	55,55
1.2	Lastro de brita	0,50	m ³	55,22	27,61
1.3	Lastro de concreto	0,50	m ³	226	113,00
1.4	Piso de concreto armado esp=12cm	10,20	m ²	42,16	430,03
	Custo do item			R\$	626,19
2	CAIXAS EM POLIETILENO				
2.1	Caixa d'água 8.000 litros	1	unid.	2.342,00	2.342,00
2.2	Caixa d'água 12.000 litros	1	unid.	3.749,00	3.749,00
	Custo do item			R\$	6.091,00
	CUSTO TOTAL			R\$	6.717,19
	CUSTO TOTAL			US\$	2.920,51

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

ANEXO 9: ORÇAMENTO PARA RESERVATÓRIO EM ANÉIS DE CONCRETO COM 20M³

Item	Descrição	Quant.	Unid.	Unit.	Total
1	FUNDAÇÕES				
1.1	Escavação manual	6,33	m ³	77,61	491,27
1.2	Apiloamento de fundo de valas	4,50	m ²	5,05	22,73
1.3	Reaterro apiloado de valas	1,03	m ²	13,33	13,73
1.4	Lastro de brita	0,22	m ³	55,22	12,15
1.5	Lastro de concreto	0,45	m ³	226,00	101,70
	Custo do item				641,58
2	ESTRUTURA				
2.1	Anéis em concreto armado Ø 2,12 × 0,50 m	12,00	unid.	363,15	4.357,80
2.2	Rejunte entre os anéis	86,50	m	8,34	721,41
	Custo do item				5.079,21
3	IMPERMEABILIZAÇÃO				
3.1	Regularização de superfície para impermeabilização	40,00	m ²	24,06	962,40
3.2	Impermeabilização de cisternas	40,00	m ²	51,50	2.060,00
	Custo do item				3.022,40
4	LIMPEZA FINAL				
4.1	Limpeza final	1,00	vb	60,00	60,00
	Custo do item				60,00
	CUSTO TOTAL			R\$	8.803,19
	CUSTO TOTAL			US\$	3.827,47

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

ANEXO 10: COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE PREÇOS

* Data-base de referência para estimativa do custo: dezembro/2005

Escavação manual de valas			R\$	m
Servente	h	3,2500	1,15	3,74
			LS	4,68
			Total	8,42
			Total c/ BDI	10,95
Apiloamento de fundo de valas			R\$	m³
Servente	h	1,5000	1,15	1,73
			LS	2,16
			Total	3,89
			Total c/ BDI	5,05
Lastro de brita			R\$	m³
Servente	h	2,5000	1,15	2,88
Brita	m ³	1,2000	30,00	36,00
			LS	3,60
			Total	42,48
			Total c/ BDI	55,22
Reaterro apiloado de valas			R\$	m²
Pedreiro	h	0,3500	1,50	0,53
Servente	h	3,5000	1,15	4,03
			LS	5,70
			Total	10,25
			Total c/ BDI	13,33
Broca de concreto armado (d = 25 cm)			R\$	m
Ferreiro	h	0,0800	1,50	0,12
Ajud. de ferreiro	h	0,0800	1,15	0,09
Pedreiro	h	0,2500	1,50	0,38
Servente	h	2,2900	1,15	2,63
Areia grossa	m ³	0,0453	14,00	0,63
Cimento Portland	kg	14,0000	0,42	5,88
Seixo	m ³	0,0410	0,42	0,02
Aço CA-50 (média das bitolas)	kg	0,9800	2,17	2,13
Arame recozido (18BWG)	kg	0,0200	3,30	0,07
			L. S.	4,03
			Total	15,98
			Total c/ BDI	20,77
Lastro de concreto			R\$	m³

Pedreiro	h	2,0000	1,50	3,00
Servente	h	16,0000	1,15	18,40
Areia grossa	m ³	0,6765	14,00	9,47
Cimento Portland	kg	220,0000	0,42	92,40
Seixo	m ³	0,8800	27,00	23,76
			L. S.	26,81
			Total	173,84
			Total c/ BDI	226,00

Concreto armado p/ vigas baldrame (fck = 15 mpa)			R\$	m³
Carpinteiro	h	10,0000	1,50	15,00
Ajud. de carpinteiro	h	10,0000	1,15	11,50
Ferreiro	h	5,2000	1,50	7,80
Ajud. de ferreiro	h	5,2000	1,15	5,98
Pedreiro	h	5,0000	1,50	7,50
Servente	h	18,0000	1,15	20,70
Areia grossa	m ³	0,6800	14,00	9,52
Cimento Portland	kg	335,0000	0,42	140,70
Seixo	m ³	0,8000	27,00	21,60
Sarrafo de tábua (3A - 1" × 4")	m	10,0000	0,80	8,00
Tábua de construção (3A - 1" × 12")	m ²	10,0000	8,00	80,00
Aço CA-50 (média das bitolas)	kg	44,1000	2,17	95,70
Aço CA-60 (média das bitolas)	kg	10,5000	2,48	26,04
Pregos (média das bitolas)	kg	1,5000	2,43	3,65
Arame recozido (18BWG)	kg	1,0400	3,30	3,43
			L. S.	85,80
			Total	542,91
			Total c/ BDI	705,79

Concreto armado p/ pilares e vigas (fck = 15 mpa)			R\$	m³
Carpinteiro	h	14,4000	1,50	21,60
Ajud. de carpinteiro	h	14,4000	1,15	16,56
Ferreiro	h	8,0000	1,50	12,00
Ajud. de ferreiro	h	8,0000	1,15	9,20
Pedreiro	h	5,0000	1,50	7,50
Servente	h	18,0000	1,15	20,70
Areia grossa	m ³	0,6800	14,00	9,52
Cimento Portland	kg	335,0000	0,42	140,70
Seixo	m ³	0,8000	27,00	21,60
Madeirit resinado (12 mm)	m ²	2,4000	9,50	22,80
Pontaleta de construção (3" × 3")	m	14,4000	3,50	50,40
Sarrafo de tábua (3A - 1" × 4")	m	18,0000	0,80	14,40
Tábua de construção (3A - 1" × 12")	m	3,9600	2,40	9,50
Aço CA-50 (média das bitolas)	kg	64,0000	2,17	138,88

Aço CA-60 (média das bitolas)	kg	16,0000	2,48	39,68
Pregos (média das bitolas)	kg	2,4000	2,43	5,83
Arame recozido (18BWG)	kg	0,2400	3,30	0,79
Desmoldante p/ formas (Desmol)	l	1,2000	3,90	4,68
			L. S.	109,70
			Total	656,05
			Total c/ BDI	852,87
Chapisco em paredes				
			R\$	m²
Pedreiro	h	0,1000	1,50	0,15
Servente	h	0,1500	1,15	0,17
Areia grossa	m ³	0,0061	14,00	0,09
Cimento Portland	kg	2,4300	0,42	1,02
			LS	0,40
			Total	1,83
			Total c/ BDI	2,38
Reboco (massa única em paredes)				
			R\$	m²
Pedreiro	h	0,8000	1,50	1,20
Servente	h	1,2000	1,15	1,38
Areia grossa	m ³	0,0310	14,00	0,43
Cal hidratada	kg	4,4500	0,20	0,89
Cimento Portland	kg	6,0370	0,42	2,54
			LS	3,23
			Total	9,67
			Total c/ BDI	12,57
Impermeabilização de alvenaria de embasamento				
			R\$	m²
Pedreiro	h	0,7500	1,50	1,13
Servente	h	0,9500	1,15	1,09
Areia grossa	m ³	0,0243	14,00	0,34
Cimento Portland	kg	9,7200	0,42	4,08
Impermeabilizante (SIKA 1)	kg	0,4000	2,55	1,02
			LS	2,78
			Total	10,44
			Total c/ BDI	13,57
Impermeabilização de jardineiras				
			R\$	m²
Pedreiro	h	0,7500	1,50	1,13
Servente	h	1,0500	1,15	1,21
Areia grossa	m ³	0,0365	14,00	0,51
Cimento Portland	kg	14,5800	0,42	6,12
Impermeabilizante (SIKA 1)	kg	0,6000	2,55	1,53
			LS	2,92
			Total	13,42
			Total c/ BDI	17,45

Laje pré-fabricada p/ piso			R\$	m²
Pedreiro	h	0,3700	1,50	0,56
Servente	h	0,7000	1,15	0,81
Areia grossa	m ³	0,0489	14,00	0,68
Cimento Portland	kg	15,0000	0,42	6,30
Seixo	m ³	0,0440	27,00	1,19
Pontaleta de construção (3" × 3")	m	1,7100	3,50	5,99
Sarrafo de tábua (3A - 1" × 4")	m	0,9700	0,80	0,78
Tábua de construção (3A - 1" × 12")	m	0,5600	2,40	1,34
Aço CA-50 (média das bitolas)	kg	1,8900	2,17	4,10
Laje pré-fabricada p/ piso (h = 12 cm)	m ²	1,0000	20,00	20,00
Pregos (média das bitolas)	kg	0,0300	2,43	0,07
Betoneira (320l - 5hp)	h	0,0400	0,50	0,02
			LS	1,70
			Total	43,54
			Total c/ BDI	56,60
Regularização de superfície p/ impermeabilização			R\$	m²
Pedreiro	h	0,4300	1,50	0,65
Servente	h	1,4600	1,15	1,68
Areia grossa	m ³	0,0730	14,00	1,02
Cimento Portland	kg	29,1600	0,42	12,25
			LS	2,91
			Total	18,50
			Total c/ BDI	24,06
Látex acrílico (duas demãos em paredes)			R\$	m²
Pintor	h	0,4000	1,50	0,60
Ajud. de pintor	h	0,3500	1,15	0,40
Lixa p/ madeira/massa	un	0,2500	0,24	0,06
Líquido preparador de superfícies	l	0,1200	9,98	1,20
Aguarrás mineral	l	0,0500	3,60	0,18
Tinta látex acrílica (Suvinil)	l	0,1700	11,45	1,95
			LS	1,26
			Total	5,64
			Total c/ BDI	7,34
Madeiramento c/ tesouras p/ telha cerâmica			R\$	m²
Carpinteiro	h	1,5000	1,50	2,25
Ajud. de carpinteiro	h	1,5000	1,15	1,73
Madeira p/ cobertura (Pau d'Arco)	m ³	0,0260	714,00	18,56
Ferragem p/ tesouras	kg	0,2300	4,00	0,92
Pregos (média das bitolas)	kg	0,1200	2,43	0,29
			LS	4,98
			Total	28,73

			Total c/ BDI	37,35
Telha cerâmica paulista			R\$	m²
Pedreiro	h	1,5000	1,50	2,25
Servente	h	2,0300	1,15	2,33
Areia grossa	m ³	0,0038	14,00	0,05
Cal hidratada	kg	0,4860	0,20	0,10
Cimento Portland	kg	0,4860	0,42	0,20
Telha cerâmica paulista	un	25,0000	0,15	3,75
			LS	5,74
			Total	14,43
			Total c/ BDI	18,76
Escavação manual p/ tubulões				m³
Pocreiro	h	10,0000	1,50	15,00
Servente	h	10,0000	1,15	11,50
			LS	33,20
			Total	59,70
			Total c/ BDI	77,61
Piso de concreto armado (esp = 12 cm)				m²
Pedreiro	h	0,2500	1,50	0,38
Ferreiro	h	0,0200	1,50	0,03
Servente	h	1,9500	1,15	2,24
Areia grossa	m ³	0,1108	14,00	1,55
Cimento Portland	kg	34,0000	0,42	14,28
Seixo	m ³	0,1600	27,00	4,32
Tela de aço (CA-60)	kg	2,2000	2,55	5,61
Sarrafo de tábua (3A - 1" x 4")	m	0,8000	0,80	0,64
Pregos (média das bitolas)	kg	0,0100	2,43	0,02
Betoneira (320l - 5hp)	h	0,0860	0,50	0,04
			LS	3,32
			Total	32,43
			Total c/ BDI	42,16

ANEXO 11: ANÁLISE LABORATORIAL DO EFLUENTE TRATADO

INTERESSADO

ALFREDO AKIRA OHNUMA JÚNIOR
PROF. EDUARDO MÁRIO MENDIONDO

DATA DA COLETA

14.06.2007

COLETADA POR

INTERESSADO

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 20^A EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETROS		AMOSTRAS	
		ENTRADA BIODIGESTOR	SAÍDA BIODIGESTOR
pH		8,03	7,72
TURBIDEZ	(NTU)	426	25
ABSORVÂNCIA		1,314	1,528
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O ₂ /L)	1486	296
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O ₂ /L)	627	63
NITROGÊNIO TOTAL	(mg N/L)	365	294
NITROGÊNIO AMONÍACAL	(mg N/L)	327	282
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	2,46	0,37
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	< 0,001	0,25
FOSFATO TOTAL	(mg PO ₄ ³⁻ /L)	86	64
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg O ₂ /L)	ZERO	3,5
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	4,9X10 ⁷	1,1X10 ⁵
E. COLI	(UFC/100 mL)	5,5X10 ⁵	7,0X10 ²
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	1309	986
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	405	664
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	904	322
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	490	62
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	67	13
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	423	49
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	819	924
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	338	651
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	481	273

OS RESULTADOS APRESENTADOS NESTE CERTIFICADO REFEREM-SE EXCLUSIVAMENTE ÀS AMOSTRAS ENVIADAS AO LABORATÓRIO, NA DATA DA COLETA INFORMADA PELO INTERESSADO.

SÃO CARLOS, 25 DE JUNHO DE 2007

INTERESSADO

ALFREDO AKIRA OHNUMA JÚNIOR
PROF. EDUARDO MÁRIO MENDIONDODATA DA COLETA
COLETADA POR13.07.2007
INTERESSADO**ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 20^A EDIÇÃO DO STANDARD METHODS**

PARÂMETROS		AMOSTRAS	
		<i>ENTRADA BIODIGESTOR</i>	<i>SAÍDA BIODIGESTOR</i>
pH		7,96	7,62
TURBIDEZ	(NTU)	141	52,7
ABSORVÂNCIA		2,645	2,470
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O ₂ /L)	604	341
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O ₂ /L)	175	92
NITROGÊNIO TOTAL	(mg N/L)	400	426
NITROGÊNIO AMONIACAL	(mg N/L)	380	416
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	2,71	0,94
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	< 0,001	< 0,001
FOSFATO TOTAL	(mg PO ₄ ³⁻ /L)	50	80
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg O ₂ /L)	1,3	1,7
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	9,4x10 ⁷	8,0x10 ⁵
E. COLI	(UFC/100 mL)	3,0x10 ⁵	4,0x10 ²
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	1500	1382
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	599	738
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	901	644
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	202	175
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	27	36
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	175	139
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	1298	1207
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	572	702
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	726	505

OS RESULTADOS APRESENTADOS NESTE CERTIFICADO REFEREM-SE EXCLUSIVAMENTE ÀS AMOSTRAS ENVIADAS AO LABORATÓRIO, NA DATA DA COLETA INFORMADA PELO INTERESSADO.

SÃO CARLOS, 24 DE JULHO DE 2007

INTERESSADO ALFREDO AKIRA OHNUMA JÚNIOR
 PROF. EDUARDO MÁRIO MENDIONDO

DATA DA COLETA 01.08.2007
 COLETADA POR INTERESSADO

ENSAIOS EFETUADOS DE ACORDO COM A 21^A EDIÇÃO DO STANDARD METHODS

PARÂMETROS		AMOSTRAS	
		ENTRADA BIODIGESTOR	SAÍDA BIODIGESTOR
pH		7,93	7,62
TURBIDEZ	(NTU)	144	30,2
ABSORVÂNCIA		2,50	1,65
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O ₂ /L)	884	334
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	(mg O ₂ /L)	348	88
NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL	(mg N/L)	471	376
NITROGÊNIO AMONÍACAL	(mg N/L)	446	371
NITROGÊNIO NITRATO	(mg N/L)	2,26	0,29
NITROGÊNIO NITRITO	(mg N/L)	< 0,001	< 0,001
FOSFATO TOTAL	(mg PO ₄ ³⁻ /L)	36	28
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	(mg O ₂ /L)	0,8	1,9
COLIFORMES TOTAIS	(UFC/100 mL)	8,7x10 ⁹	7,2x10 ⁹
E. COLI	(UFC/100 mL)	6,1x10 ⁶	2,0x10 ²
SÓLIDOS TOTAIS	(mg/L)	1488	1064
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	(mg/L)	538	731
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	(mg/L)	950	333
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	(mg/L)	224	33
SÓLIDOS SUSPENSOS FIXOS	(mg/L)	14	4
SÓLIDOS SUSPENSOS VOLÁTEIS	(mg/L)	210	29
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	(mg/L)	1264	1031
SÓLIDOS DISSOLVIDOS FIXOS	(mg/L)	524	727
SÓLIDOS DISSOLVIDOS VOLÁTEIS	(mg/L)	740	304

OS RESULTADOS APRESENTADOS NESTE CERTIFICADO REFEREM-SE EXCLUSIVAMENTE ÀS AMOSTRAS ENVIADAS AO LABORATÓRIO, NA DATA DA COLETA INFORMADA PELO INTERESSADO.

SÃO CARLOS, 10 DE AGOSTO DE 2007

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)