Universidade de São Paulo –USP
Escola de Engenharia de São Carlos – EESC
Departamento de Hidráulica e Saneamento – SHS
Núcleo Integrado de Bacias Hidrográficas
www.shs.eesc.usp.br/laboratorios/hidraulica

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP

Projeto:

EXPERIMENTO HIDROLÓGICO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE CHUVA USANDO COBERTURAS VERDES LEVES (CVL):

Processo FAPESP: 03/06580-7

Bolsista:
Arã Pereira da Silva Rodrigues da Cunha

Orientador:
Prof. Dr. Eduardo Mario Mendiondo

São Carlos, SP
Setembro/2004

INDICE

1. Introdução 3

2. Objetivo 3

3. Materiais e Métodos 6

3.1 Materiais 6

3.2 Métodos 9

3.2.1 Evapotranspiração 9

3.2.1.1 Influências meteorológicas 9

3.2.1.2 Método combinado 11

3.2.2 Balanço Hídrico 13

4. Resultados 20

4.1 Gráficos de Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe) 20

4.2 Balanço hídrico da CVL nos eventos de chuva 24

4.3 Evapotranspiração Potencial (ETP) 26

4.4 Qualidade da água coletada da CVL 31

5. Análise de Viabilidade Econômica da Cobertura Verde 31

6. Conclusões 35

8. Projeto de Renovação 38

8.1 Objetivos 38

8.2 Fluxograma da Metodologia 40

8.3 Cronograma 40

9. Referências Bibliográficas 40

1. Introdução

Em todo o país a urbanização aliada ao inexpressível planejamento ambiental na construção de novos lotes nas cidades e periferias tem acarretado diversos sinistros, como as enchentes observadas em épocas de chuva, o aumento da temperatura em escala mesoclimática, ilhas de calor urbano, o efeito estufa, a falta de água nas grandes cidades. A preocupação com os aspectos ambientais e de sustentabilidade na sociedade de uma forma geral tem levado ao desenvolvimento de tecnologias de construção com menor impacto ambiental. Buscando amenizar os problemas já citados está sendo desenvolvida na Escola de Engenharia de São Carlos – USP uma pesquisa ampla sobre Coberturas Verdes Leves (CVL's) que envolve três áreas distintas de estudo:

1. Desempenho Térmico;
2. Método Construtivo;
3. Hidrologia do telhado Verde de característica leve (CVL).

Este relatório refere-se ao estudo da Hidrologia do telhado verde em questão.

2. Objetivo

Nas CVL's em sua concepção tradicional temos o retardamento no escoamento de águas pluviais se comparados com uma cobertura tradicional (Telha), observa-se (Figura 2.1) como é feita a infiltração nos dois tipos de superfície. Na cobertura verde, vemos que parte da água precipitada é infiltrada na superfície e outra parte retorna ao sistema pelo processo de evaporação. Uma pequena parte é escoada ao sistema de esgoto e tratamento de águas pluviais. Na cobertura tradicional, vemos que a maior quantidade de água escorre diretamente para o sistema público de águas pluviais, ocasionando assim, um super fluxo que muitas vezes gera as famosas inundações.

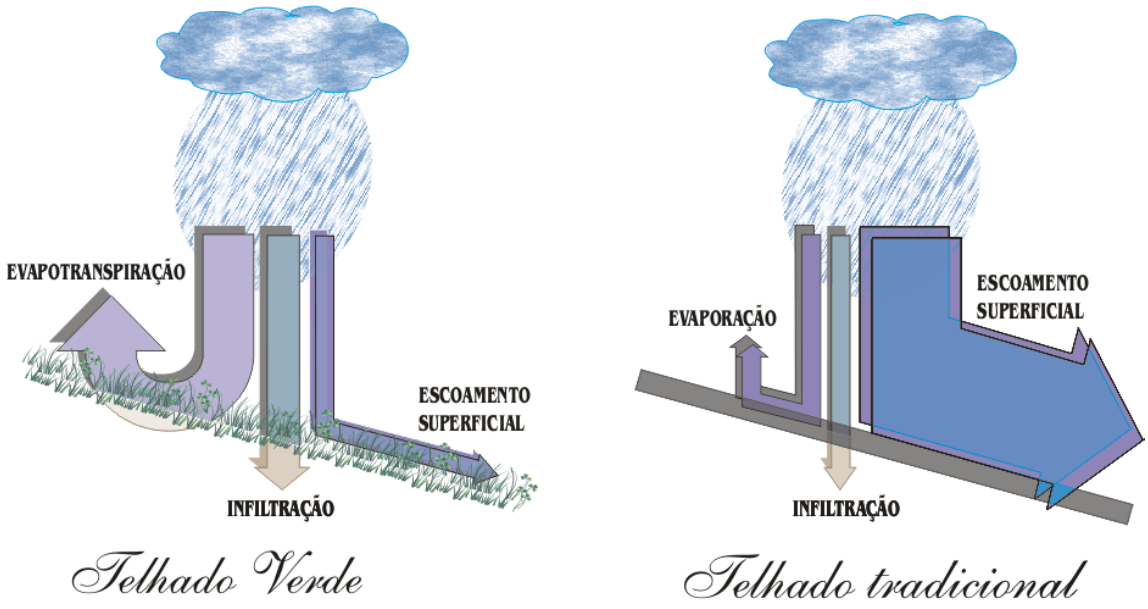


Figura 2.1: Comparação de escoamento de uma cobertura verde com uma cobertura tradicional.

Em vista da crescente preocupação com a escassez de água o desenvolvimento de projetos para reuso de água vem tomando destaque em função da sua importância como prevenção à escassez da água para os diversos tipos de consumo humano. Estes projetos, em sua maioria, prevêem o tratamento de águas residuárias em macro escala, o que difere com a proposta de reuso para a CVL que consiste em aproveitar a água pluvial filtrada nas diversas camadas da mesma (figura 2.2) para uso a ser definido conforme a análise química da sua qualidade durante todo o período desta pesquisa. Buscamos desta forma solucionar o problema da escassez em escala de lote urbano utilizando a água tratada pela concessionária apenas para o essencial.

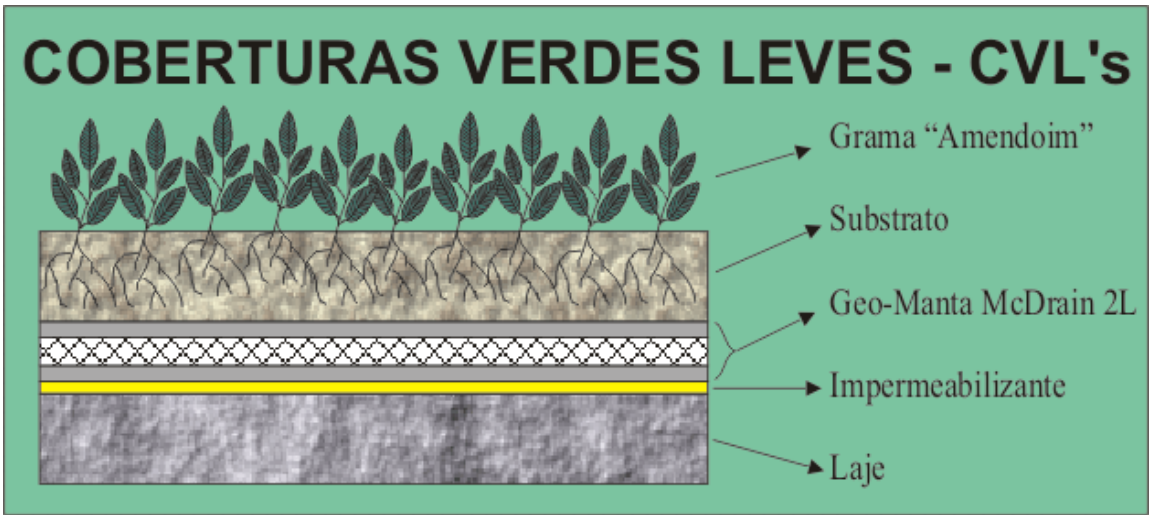


Figura 2.2: Diversas camadas de uma Cobertura Verde Leve.

O estudo inclui a comparação entre cobertura convencional e a CVL, por meio de avaliação experimental, monitorada de forma automática por meio da aquisição e armazenamento de dados pluviométricos e de escoamento. O estudo hidrológico é dividido nas seguintes etapas:

a) Instalação de equipamentos automáticos de coleta e armazenamento de dados hidrológicos junto aos protótipos no Campus de São Carlos/USP (conforme monitoramento descrito em MARTINS & PAIVA, 2000);

b) Análise do balanço de radiação para estimação da evapotranspiração (TUCCI et al, 2000; p. 253; CAMPANA & EID, 2000);

c) Estudo da interceptação, infiltração e escoamento em protótipos com diferentes tipos de vegetação (RIGHETTO, 1998);

d) Análise de qualidade de água pluvial e de escoamento (PIMENTEL, 2002) visando o reuso da água de chuva para usos múltiplos (HESPANHOL, 2002);

e) Estudo de viabilidade física-financeira.

3. Materiais e Métodos

3.1 Materiais

O protótipo, para execução de projeto, situa-se em local livre de sombreamentos. A cobertura foi construída em um protótipo pré-existente, no qual necessitou fazer algumas modificações. Iniciou com a retirada da cobertura existente e conseqüente diminuição da declividade do telhado para 10%. Procedeu-se com a construção da laje, construída a partir de vigas pré-moldadas e blocos cerâmicos. A dimensão da laje é de 2,8m X 4,2m.

Sobre a laje foi construída uma platibanda constituída de duas fiadas de tijolo. Os materiais utilizados foram tijolos cerâmicos maciços e massa de assentamento e reboco.

Foram colocadas duas saídas para o escoamento de águas pluviais. A água coletada servirá para estudo hidrológico, para verificação da redução do escoamento (*runoff*) e coleta de amostra da água de chuva escoada pelo telhado a fim de determinar o seu reuso, entre eles, a irrigação do sistema de cobertura.

Executou-se o arredondamento dos cantos para facilitar a impermeabilização e assentamento da manta geotêxtil McDrain 2L.

Procedeu-se a pré-impermeabilização com uma nata constituída de cimento + água(50%) e látex(50%). A finalidade dessa pré-impermeabilização é fazer um tamponamento dos poros do concreto gerando uma posterior economia de resina poliuretana que seria absorvida pelo concreto. A nata foi espalhada na laje com o auxilio de um rodo e na platibanda com um pincel.

Nessa etapa da construção é importante ressaltar que um certo cuidado deve ser tomado, fazendo com que todas as áreas da laje tenham recebido esta nata. O mesmo cuidado deve ser tomado na hora de aplicar a resina poliuretana, evitando assim futuros sinistros referentes a infiltrações.

A impermeabilização do protótipo foi dada por uma resina de origem vegetal (Ricinus-communis). A impregnação da resina poliuretana sobre a face superior da laje de cobertura

possibilita o tamponamento dos poros superficiais se dá com os componentes ainda na forma de monômero. A resina se impregna e posteriormente sofre polimerização formando um filme altamente compacto sobre a superfície, promovendo o encapsulamento do material suporte, evitando a penetração de água e outros agentes agressivos na matriz de cimento, como o íon cloro – responsável pela corrosão das armaduras. A aplicação da resina foi dada por meio de rolos e pincéis, semelhante a aplicação de uma tinta. Na laje foram aplicadas duas demãos de impermeabilizante.

Foi colocado o substrato de terra preparada e assentado os tapetes de grama.

Figura 3.1 – Assentamento de tijolos.

Figura 3.2 – Convecção do reboco.

Fig. 3.3 – Pasta de cimento e latex.

Fig. 3.4 – Aplicação do Impermeabilizante.

Figura 3.5 – Substrato / Macdrain 2L.

Figura 3.6 – Protótipo LCC.

Materiais utilizados.

Laje	vigas pré-moldadas; blocos cerâmicos; cimento, areia e pedra (LCC).
Platibanda	Tijolos comuns; cimento, areia e cal.
Pasta de cimento	Cimento e látex
Impermeabilizante	Resina Poliuretana (PU) de origem vegetal (*Ricinus communis*)
Geo-manta	MacDrain 2L (Maccaferri)

Figura 3.7 – Estação Meteorológica (E.M.)Davis

Figura 3.8 – Console da E.M.Davis.

Foi instalada uma estação meteorológica (Foto 3) contendo Data-Logger e Módulo de Armazenamento modelo, Pluviómetro, sensor de radiação solar, sensor de ultravioleta, temperatura e umidade relativa do ar, pressão barométrica, sensor de direção e velocidade do vento para a coleta dos dados hidrometeorológicos a serem utilizados no estudo hidrológico da cobertura verde.

Figura 3.9 –E.M. montada

Figura 3.10 –E.M. instalada

3.2 Métodos

3.2.1 Evapotranspiração

A evapotranspiração pode ser entendida como o conjunto de evaporação de água do solo mais transpiração da planta, sendo a evaporação a perda de água para a atmosfera de uma superfície líquida (ou sólida saturada) exposta livremente as condições ambientais e a transpiração como a perda de água para a atmosfera na forma de vapor, decorrente das ações físicas e fisiológicas dos vegetais (através dos estômatos).

3.2.1.1 Influências meteorológicas

Temperatura de superfície

A variação da intensidade da radiação solar recebida na superfície produz uma variação na temperatura da superfície, modificando a energia cinética das moléculas. A altas temperaturas mais moléculas escapam da superfície, devido a sua maior energia cinética.

Temperatura e umidade do ar

A temperatura e umidade do ar condicionam a pressão de vapor do mesmo, agindo portanto como fatores ligados ao gradiente de vapor entre a superfície e o ar vizinho.

Vento

O vento modifica a camada de ar vizinho a superfície, substituindo uma camada muitas vezes saturada por uma com menor teor de vapor d´água.

N a camada em contato com a superfície (aproximadamente 1mm) o movimento do vapor é por moléculas individuais (difusão molecular), mas, acima dessa camada limite superficial, o responsável é o movimento turbulento do ar (difusão turbulenta).

Além desses, pode-se citar a pressão atmosférica, influindo em menor escala, e as influências inerentes a superfície evaporante, tais como: tamanho da superfície evaporante, estado da área vizinha, salinidade da água, umidade do solo, composição e textura do solo etc...

Neste projeto foram utilizadas fórmulas empíricas para a determinação da evapotranspiração, desta forma a evapotranspiração obtida é potencial (ETP) e não real (ETR), o que devido a complexidade de se obter a ETR e devido ao objetivo deste trabalho a ETP é mais que suficiente. Sendo assim, o método escolhido para este fim é o método combinado.

3.2.1.2 Método combinado

O método combinado é constituído pela junção dos efeitos do balanço de energia e aerodinâmico e a evapotranspiraçao potencial (ETP) em uma superfície de um 1 m2 de solo é dada pela seguinte formulação:

$$\text{ETP(mm/dia)} = \frac{\Delta \,.\, (R_N - G)}{(\Delta + \varepsilon^*) \,.\, l_v} + \frac{\varepsilon \,.\, 900 \,.\, u_2 \,.\, (e_s - e)}{(\Delta + \varepsilon^*) \,.\, (T+273)} \quad (1)$$

Sendo G o fluxo de calor do solo.

$\varepsilon \rightarrow$ constante psicrométrica (kPa/ºC), dada por:

$$\varepsilon = 0{,}0016286 \,.\, \frac{p}{l_v} \quad (2)$$

$\varepsilon^* \rightarrow$ constante psicrométrica modificada (kPa/ºC), dada por:

$$\varepsilon^* = \varepsilon.(1 + 0{,}33.u_2) \quad (3)$$

Onde u2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m/s).

lv $\rightarrow$ calor latente de vaporização (J/kg), dado por:

$$l_v = 2500000 \cdot 2370.T \quad (4)$$

Sendo T é a temperatura ambiente (ºC).

es $\rightarrow$ pressão de vapor de saturação (Pa), dado por:

$$e_s = 611.\exp\left(\frac{17{,}27.T}{237{,}3 + T}\right) \quad (5)$$

Sendo T é a temperatura no ponto de orvalho (ºC).

e $\rightarrow$ pressão de vapor de água (Pa), dado por:

$$e = e_s.HR \quad (6)$$

Sendo HR a umidade relativa do ar (%).

$\Delta \rightarrow$ gradiente da curva pressão x vapor de saturação, dado por:

$$\Delta = \frac{4098.e_s}{(237,3+T)^2} \quad (7)$$

"*es*" é pressão de vapor de saturação (Pa) e T é a temperatura ambiente (ºC).

RN $\rightarrow$ radiação líquida disponível para a mudança de estado da água (W/m2), dada por:

$$R_N = R_i.(1-r) - R_e \quad (8)$$

Sendo r o albedo (tabela 2), quociente entre a radiação refletida e a radiação incidente e estimado conforme as características da superfície, Ri é a radiação incidente global [cal/(cm2.dia)], e Re a radiação líquida de onda longa, dada por:

$$R_e = \sigma.T^4.(A - B.\sqrt{e})\left(0,1 + 0,9.\frac{n}{N}\right) \quad (9)$$

Sendo σ a constante de Stephan-Boltzmann [117x10-9 cal/(cm2.dia.ºK4)], T a temperatura ambiente (ºK), A e B parâmetros locais (para o estado de São Paulo: A = 0,56 e B = 0,078), n o número de horas de brilho solar efetivo, N o número máximo de horas de brilho solar teórico (tabela 1), função da latitude e época do ano, e e a pressão de vapor de água.

Tabela 1 – Insolação Máxima Diária, N, em horas.

Latitude	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
10ºS	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
20ºS	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,6	11,0	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
22ºS	13,4	12,5	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,3	12,0	12,6	13,2	13,3
30ºS	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
40ºS	14,7	13,6	12,4	11,1	9,9	9,3	9,6	10,5	11,6	13,1	14,3	15,0

fonte: Righetto (1998)

Tabela 2 – Valores de albedo.

Superfícies	Intervalo de *r*
Florestas coníferas	0,10 - 0,15
Florestas temporárias	0,15 - 0,20
Cereais	0,10 - 0,25
Batatas	0,15 - 0,25
Algodão	0,20 - 0,25
Campo	0,15 - 0,20
Superfícies de água	0,03 - 0,10
Solos escuros	0,05 - 0,20
Argila seca	0,20 - 0,35
Solos arenosos (secos)	0,15 - 0,45

fonte: Tucci (2001)

3.2.2 Balanço Hídrico

Determinando o telhado verde como superfície de controle, podemos dizer que o balanço hídrico do mesmo é constituído pela precipitação atmosférica, evapotranspiração, escoamento superficial, infiltração, escoamento subterrâneo devido, em sua maior parte, ao leito drenante (macdrain) e delimitado pela superfície impermeável (laje e platibanda). Equacionando o balanço hídrico do telhado podemos chegar na seguinte relação:

$$\Delta S = \sum entradas - \sum saídas \tag{10}$$

Onde ΔS é o armazenamento de água na CVL. Substituindo na equação 10 as componentes responsáveis pela entrada e saída de água no sistema obtemos:

$$S_{(t)} - S_{(t-1)} = \left[Pi_{(t)} - Pi_{(t-1)}\right] - \left[ETR_{(t)} - ETR_{(t-1)}\right] - \left[Pe_{(t)} - Pe_{(t-1)}\right] \tag{11}$$

Sendo $S_{(t)}$ o armazenamento do telhado no tempo t; $S_{(t-1)}$ o armazenamento do telhado no tempo t-1; $Pi_{(t)}$ a precipitação atmosférica no tempo t; $Pi_{(t-1)}$ a precipitação atmosférica no tempo t-1; $ETR_{(t)}$ a evapotranspiração real no tempo t; $ETR_{(t-1)} \rightarrow$ evapotranspiração real no tempo t-1; $Pe_{(t)}$ o escoamento de água da chuva no telhado no tempo t; $Pe_{(t-1)}$ o escoamento de água da chuva no telhado no tempo t-1.

A precipitação está sendo medida através de pluviógrafo, a evapotranspiração diária foi calculada com os dados meteorológicos coletados através da Estação Meteorológica, sendo esta portando a evapotranspiração potencial. O escoamento é coletado por dois pontos de dreno no telhado e armazenado numa caixa d´água (Figura 3.2.2.2), sendo esta monitorada por um linígrafo de bóia (Figura 3.2.2.1).

Figura 3.2.2.1 – Linígrafo

Figura 3.2.2.2 – Coleta e armazenamento

Para determinar o volume de água escoado para caixa d´água e transforma-lo no equivalente em mm de chuva para comparação gráfica, foi feito um estudo geométrico da caixa d´água e do telhado de forma a obter os resultados esperados. O estudo em questão está discriminado a seguir:

Tabela 3.2.2.1 - Característica geométrica do reservatório.

Espessura da parede (m)	0,02			
Altura do reservatório (m)	0,90			
	Profundidade (m)		Largura (m)	
	Externo	interno	Externo	interno
Base menor	0,82	0,78	0,95	0,91
Base maior	0,94	0,90	1,10	1,06
Δ	0,12		0,15	
α (rad) :	1,504228163	β (rad) :	0,0665682	
θ (rad) :	1,487655095	ω (rad) :	0,0831412	

Sendo α e θ os ângulos externos da parede da caixa d´água com o solo calculados pelas características geométricas do reservatório, β e ω são os ângulos internos respectivos a α e θ calculados como pi/2 menos α ou θ .

Temos ainda a caixa d´água ligada ao linígrafo (Ø25cm de base) por vaso comunicante, então o volume de água armazenada no reservatório calculada como:

$$\Delta V = \{ \{ \{ (0,78*0,91) + [(0,78+2*\Delta X)*(0,91+2*\Delta Y)] \} / 2 \} * \Delta h \} + (pi*D^2*\Delta h/4) \quad (12)$$

Sendo Δh a variação de altura observada no linígrafo, D o diâmetro da base do linígrafo e ΔX e ΔY calculados como:

$$\Delta X = tag(\beta)*\Delta h$$
$$\Delta Y = tag(\omega)*\Delta h \quad (13)$$

Tabela 3.2.2.2 - Característica geométrica do telhado.

	Largura (m)	Profundidade (m)	Altura (m)	Área (m^2)
Telhado	2,8	4,15	0,13	11,62

Através das características geométricas do telhado e do volume de água armazenado temos o equivalente armazenado em mm de chuva calculado como:

$$\text{escoamento (mm)} = \Delta V \text{ (litros)} / \text{Área (m2)} \quad (14)$$

Analisando um evento de chuva e organizando os dados como na tabela 3.2.2.3 e tabela 3.2.2.4 temos como formular um gráfico comparativo entre a chuva e o escoamento armazenado na caixa d´água, determinando desta forma o armazenamento (S) máximo do telhado até o momento em que começa o escoamento.

Tabela 3.2.2.3 – Dados coletados no linígrafo (exemplo).

T.obs. no linígrafo	Δ (h)	T. corrigido	H obs (mm)	ΔX (m)	ΔY (m)	Volume (m3)	Chuva (mm)	DeltaPe	Pe(i)
12/06/04 11:00	3,006	12/06/04 14:00	0	0	0	0	0	0	
12/06/04 12:00	3,050	12/06/04 15:04	77	0,00513	0,00642	0,059184479	5,09332865	5,09332865	0,391795
12/06/04 15:00	3,182	12/06/04 18:11	100	0,00667	0,00833	0,077156516	6,639975585	1,546646935	0,041801
12/06/04 16:00	3,227	12/06/04 19:13	130	0,00867	0,01083	0,100803538	8,675003258	2,035027673	0,156541
13/06/04 00:00	3,580	13/06/04 03:35	180	0,012	0,015	0,140736129	12,11154297	3,436539715	0,034365
13/06/04 09:30	4,000	13/06/04 13:30	190	0,01267	0,01583	0,148801381	12,80562659	0,694083617	0,005833

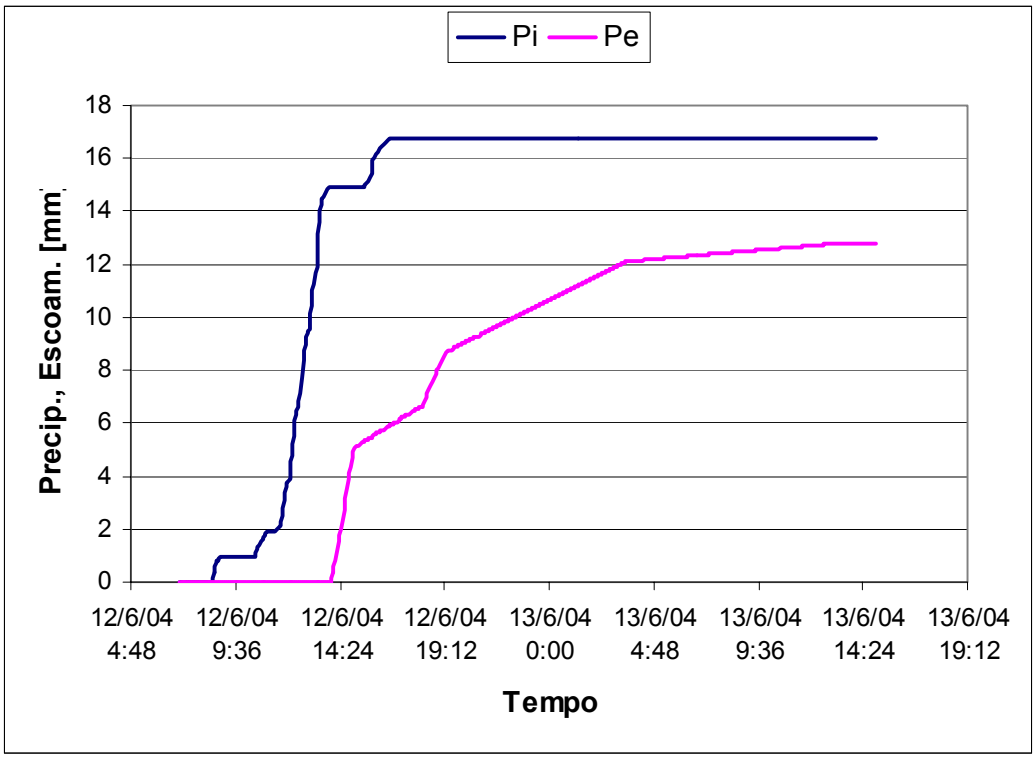
Foi observado no linígrafo um atraso no registro do tempo. Este atraso foi corrigido ao passar para a tabela distribuido o mesmo no total de horas observadas sendo *Δ (h)* o atraso correspondente no intervalo de tempo, *H obs* a altura da lâmina de água registrada pelo linígrafo, *DeltaPe* o armazenado no intervalo de tempo correspondente e *Pe(i)* é o *DeltaPe* distribuído em intervalos de 5min no tempo total observado.

Tabela 3.2.2.4 – Dados organizados para a execução do gráfico de Precipitação x Escoamento (exemplo).

Date	Time	Date + Time	I (mm/h)	P = I.Dt (mm)	P (acum) (mm)	Pe(i) = DeltaPe/Dt(i) (mm)	Pe(i) acum (mm)
12/06/04	15:20	12/6/04 15:20	0	0,0000	14,9500	0,0418	5,2187
12/06/04	15:25	12/6/04 15:25	0	0,0000	14,9500	0,0418	5,2605
12/06/04	15:30	12/6/04 15:30	0	0,0000	14,9500	0,0418	5,3023
12/06/04	15:35	12/6/04 15:35	1	0,0833	15,0333	0,0418	5,3441
12/06/04	15:40	12/6/04 15:40	1	0,0833	15,1167	0,0418	5,3859
12/06/04	15:45	12/6/04 15:45	2	0,1667	15,2833	0,0418	5,4277
12/06/04	15:50	12/6/04 15:50	3,6	0,3000	15,5833	0,0418	5,4695
12/06/04	15:55	12/6/04 15:55	3,6	0,3000	15,8833	0,0418	5,5113
12/06/04	16:00	12/6/04 16:00	2	0,1667	16,0500	0,0418	5,5531
12/06/04	16:05	12/6/04 16:05	1,3	0,1083	16,1583	0,0418	5,5949
12/06/04	16:10	12/6/04 16:10	1,3	0,1083	16,2667	0,0418	5,6367
12/06/04	16:15	12/6/04 16:15	1	0,0833	16,3500	0,0418	5,6785
12/06/04	16:20	12/6/04 16:20	1	0,0833	16,4333	0,0418	5,7203
12/06/04	16:25	12/6/04 16:25	1	0,0833	16,5167	0,0418	5,7621
12/06/04	16:30	12/6/04 16:30	1	0,0833	16,6000	0,0418	5,8040
12/06/04	16:35	12/6/04 16:35	1	0,0833	16,6833	0,0418	5,8458
12/06/04	16:40	12/6/04 16:40	1	0,0833	16,7667	0,0418	5,8876
12/06/04	16:45	12/6/04 16:45	0	0,0000	16,7667	0,0418	5,9294
12/06/04	16:50	12/6/04 16:50	0	0,0000	16,7667	0,0418	5,9712

Temos *I (mm/h)* a intensidade de chuva registrada pelo pluviógrafo. O gráfico é executado com os dados das colunas *P(acum)(mm)* e *Pe(i)acum(mm),* sendo estes a precipitação e armazenamento acumulados no intervalo de tempo especificado.

Gráfico 3.2.2.1 – Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe) (exemplo).



Aplicamos o balanço hídrico em cada intervalo de 5min (intervalo de coleta dos dados meteorológicos) para analisarmos pontualmente o que acontece com a Cobertura Verde Leve seqüencialmente em todos os eventos de chuva / escoamento em um determinado mês.

Tabela 3.2.2.5 – Dados organizados para a execução do gráfico de Balanço Hídrico para cada intervalo de 5min.

						Sinicial(mm)=	0	Smax=	14
Date + Time	**I (mm/h)**	**P = I.Dt (mm)**	**P (acum) (mm)**	**Pe(i) = DeltaPe/Dt(i) (mm)**	**Pe(i) acum (mm)**	ETP* (m/s)	ETP (mm)	P-ETP+S(t-1)-Pe(t) (mm)	S(mm) 0
12/6/04 7:00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,0000	0
12/6/04 7:05	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,18184E-09	0,0004	-0,0004	0
12/6/04 7:10	0	0,00	0,00	0,00	0,00	2,83642E-09	0,0009	-0,0012	0
12/6/04 7:15	0	0,00	0,00	0,00	0,00	4,01827E-09	0,0012	-0,0024	0
12/6/04 7:20	0	0,00	0,00	0,00	0,00	3,07315E-09	0,0009	-0,0033	0
12/6/04 7:25	0	0,00	0,00	0,00	0,00	4,96431E-09	0,0015	-0,0048	0
12/6/04 7:30	0	0,00	0,00	0,00	0,00	5,20071E-09	0,0016	-0,0064	0
12/6/04 7:35	0	0,00	0,00	0,00	0,00	3,54594E-09	0,0011	-0,0074	0
12/6/04 7:40	0	0,00	0,00	0,00	0,00	3,78233E-09	0,0011	-0,0086	0
12/6/04 7:45	0	0,00	0,00	0,00	0,00	7,32996E-09	0,0022	-0,0108	0
12/6/04 7:50	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,74993E-08	0,0052	-0,0160	0
12/6/04 7:55	0	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22968E-08	0,0037	-0,0197	0
12/6/04 8:00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	9,9332E-09	0,003	-0,0227	0

Sendo *P* o total precipitado no intervalo de tempo; *Pe(i)* o total escoado no intervalo de tempo; *ETP* a evapotranspiração total no intervalo de tempo; *S* o armazenamento total do telhado no intervalo de tempo.

A evapotranspiração no intervalo foi calculada como sendo a taxa de evaporação por radiação multiplicada de um coeficiente de ajuste (α) devido a adaptação. Esta adaptação foi realizada, pois o calculo da evapotranspiração para 5min através do método combinado apresentado resultou em valores absurdos, sendo desta forma inviável a sua utilização no intervalo estipulado.

$$ETP = ETP^{*}.\alpha \tag{15}$$

Taxa de evaporação por radiação:

$$ETP^{*}(\mathrm{m\,s^{-1}}) = \frac{1}{l_v \cdot \rho_w}[R_N - H_s - G] \tag{16}$$

$$l_v(\mathrm{J\,kg^{-1}}) = 2500000 - 2360 \cdot T \tag{17}$$

$$\rho_w = -0{,}0036 * \mathrm{T}^2 - 0{,}0736 * \mathrm{T} + 1000{,}7 \tag{18}$$

Sendo R_N *(W.m-2)* a radiação líquida; *Hs* o calor sensível do solo e *G* o fluxo de calor no solo; ρ_w *(kg.m-3)* densidade da água; $l_v(J.kg^{-1})$ o calor latente de vaporização e *T* a temperatura em ºC. Consideramos *Hs* e *G* iguais a zero.

O coeficiente de ajuste será dado por:

$$\alpha = \frac{ETPm}{ET\,\mathrm{Pr}} \tag{19}$$

Onde *ETPm* é a evapotranspiração mensal calculada como a soma da evapotranspiração diária estimada pelo método combinado; *ETPr* é a evaporação mensal calculada como a soma de todos os intervalos (5min) do mês, estimada pela taxa de evaporação por radiação.

O armazenamento *S* é calculado segundo o seguinte algoritmo:

Se $P\text{-}ETP+S(t\text{-}1)\text{-}Pe(t)<0$ então S = 0

Se não:

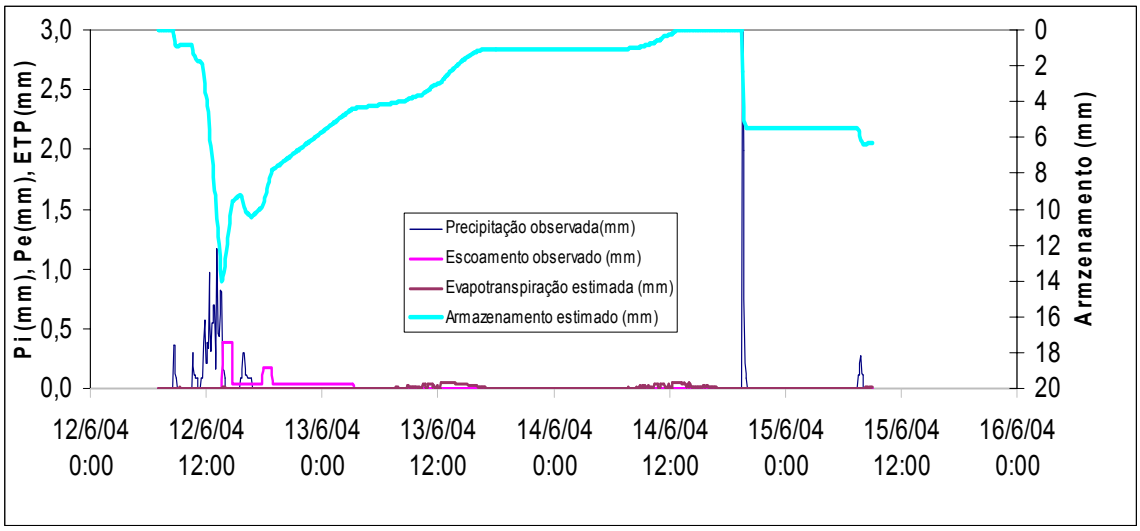
Se $P\text{-}ETP+S(t\text{-}1)\text{-}Pe(t) > Smax$ então $S = Smax$

Se não $S = P\text{-}ETP+S(t\text{-}1)\text{-}Pe(t)$

Sendo *Smax* o armazenamento máximo que a CVL pode oferecer e *S(t-1)* o armazenamento efetivo da CVL no intervalo de tempo imediatamente anterior.

Organizados os dados conforme a tabela 3.2.2.5 podemos executar o gráfico.

Gráfico 3.2.2.2 – Eventos de chuva / escoamento analisados pontualmente a cada intervalo de 5min (exemplo).



4. Resultados

4.1 Gráficos de Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe)

Seguindo a metodologia empregada para a execução do gráfico de Precipitação x Escoamento, temos desde a instalação de todos os equipamentos necessários ao monitoramento, diversos eventos demonstrados a seguir.

Gráfico 4.1.1 - Evento 01 Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe).

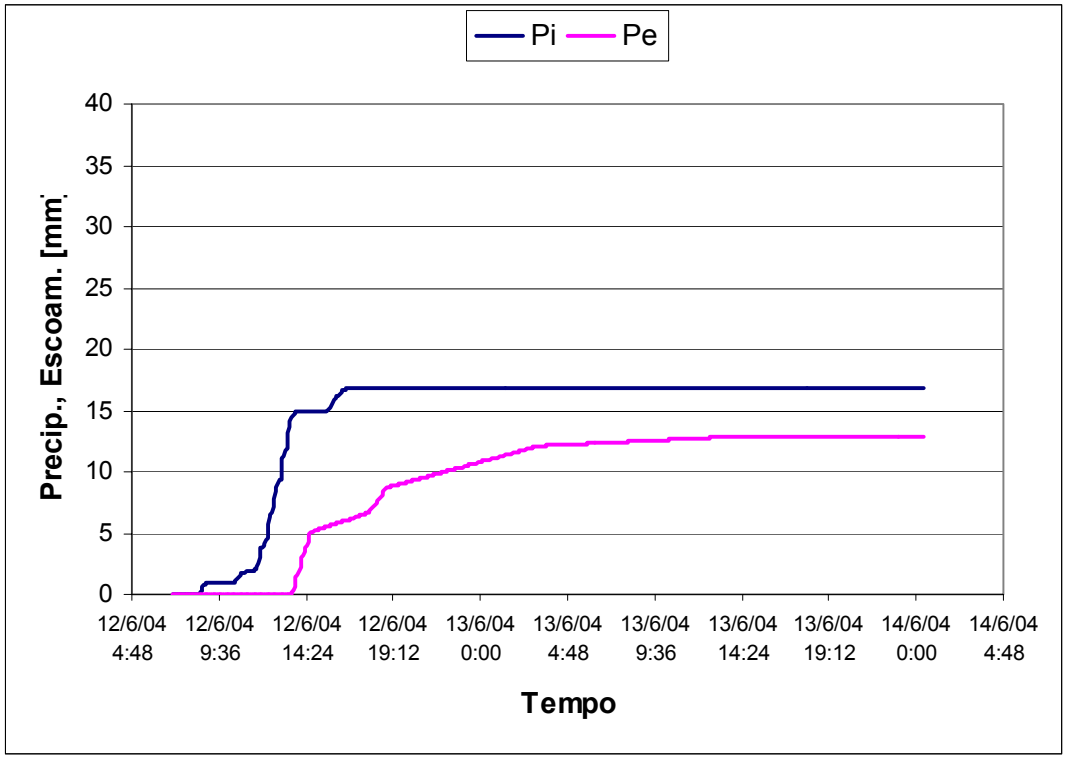


Gráfico 4.1.2 - Evento 02 Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe).

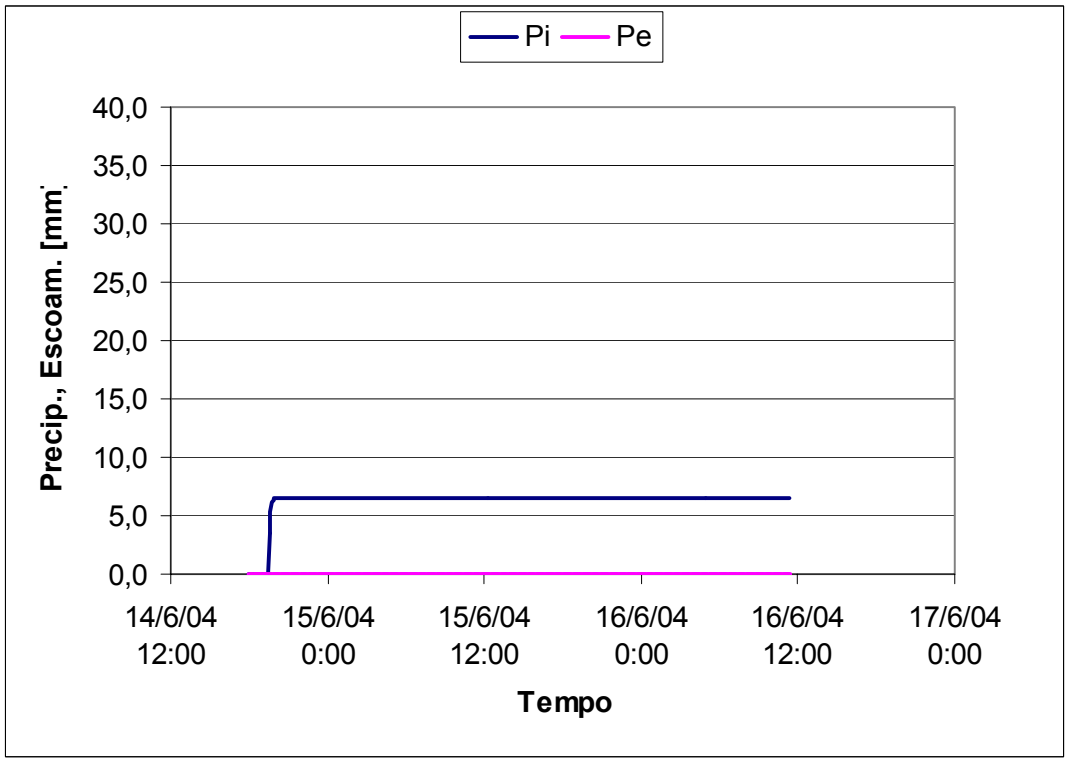


Gráfico 4.1.3 - Evento 03 Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe).

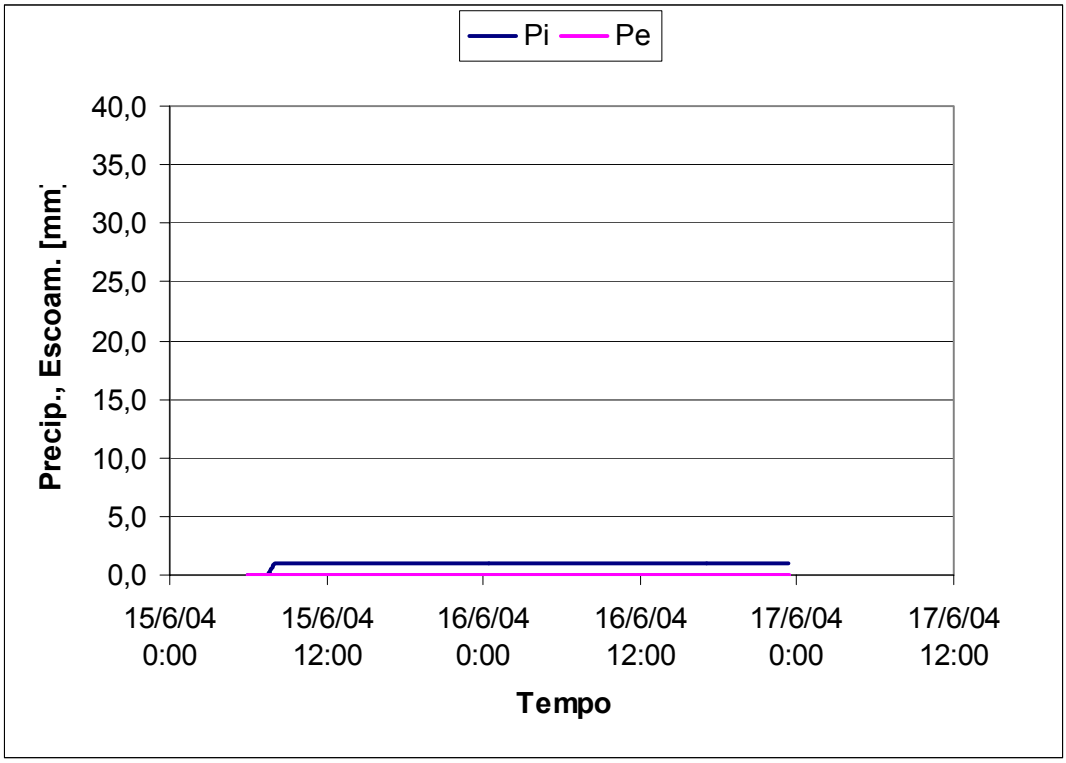


Gráfico 4.1.4 - Evento 04 Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe).

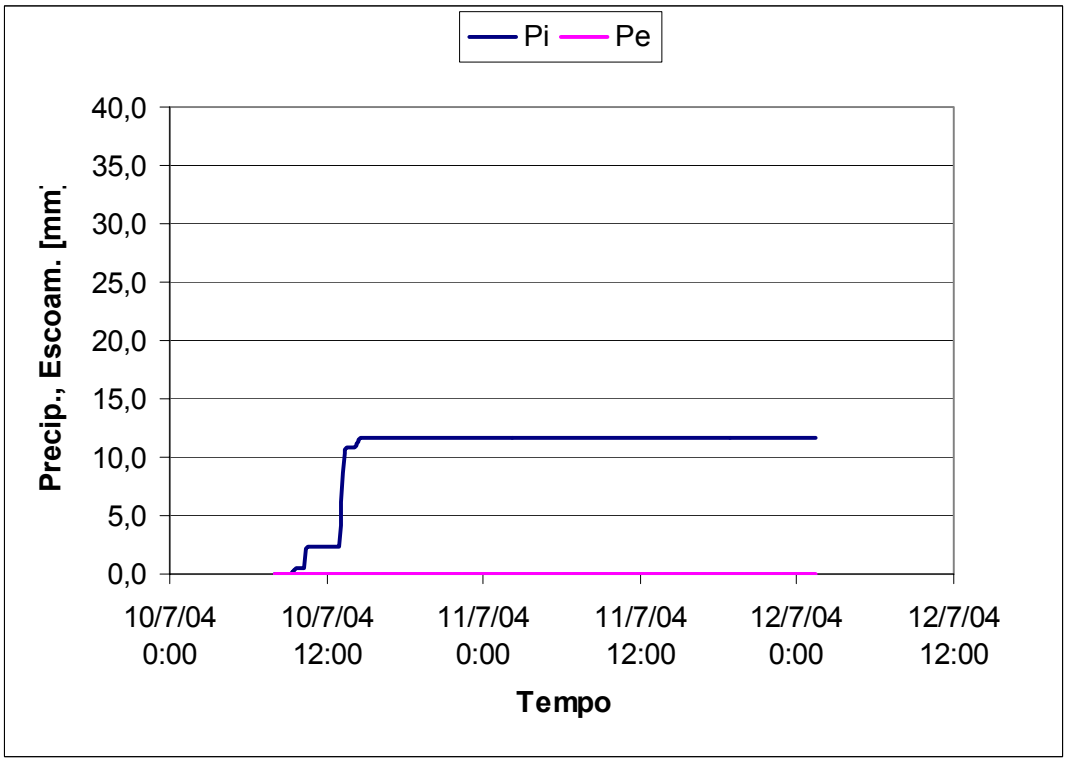


Gráfico 4.1.5 - Evento 05 Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe).

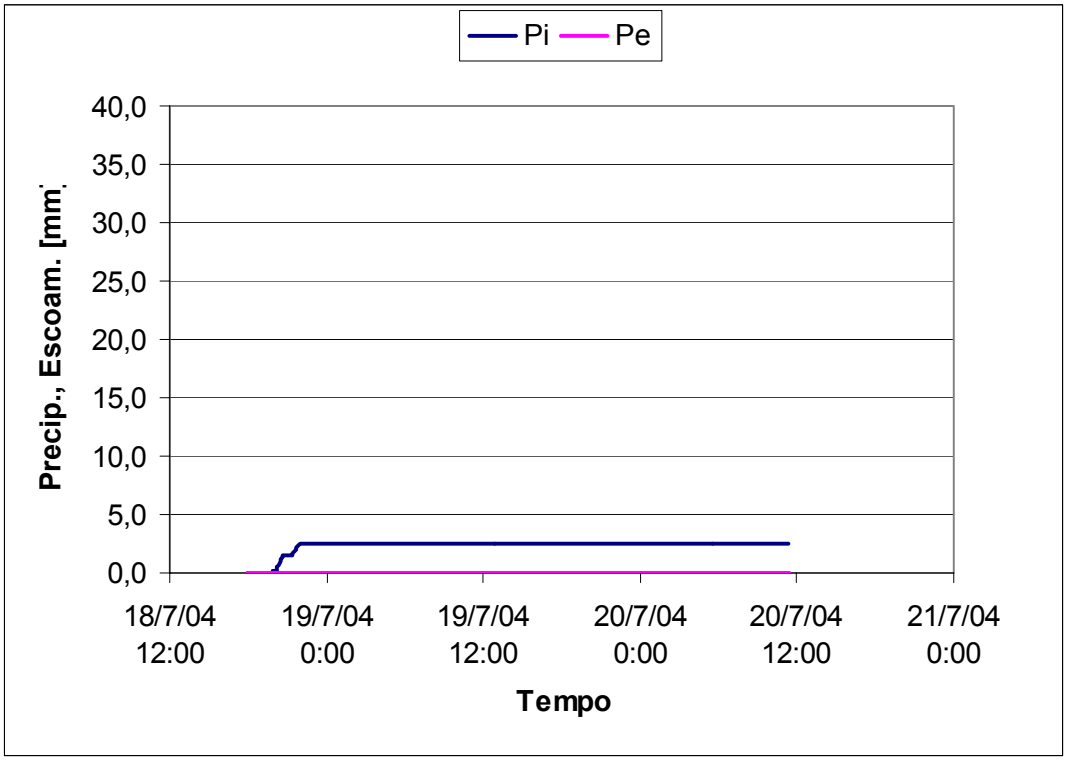


Gráfico 4.1.6 – Evento 06 Precipitação (Pi) x Escoamento (Pe).

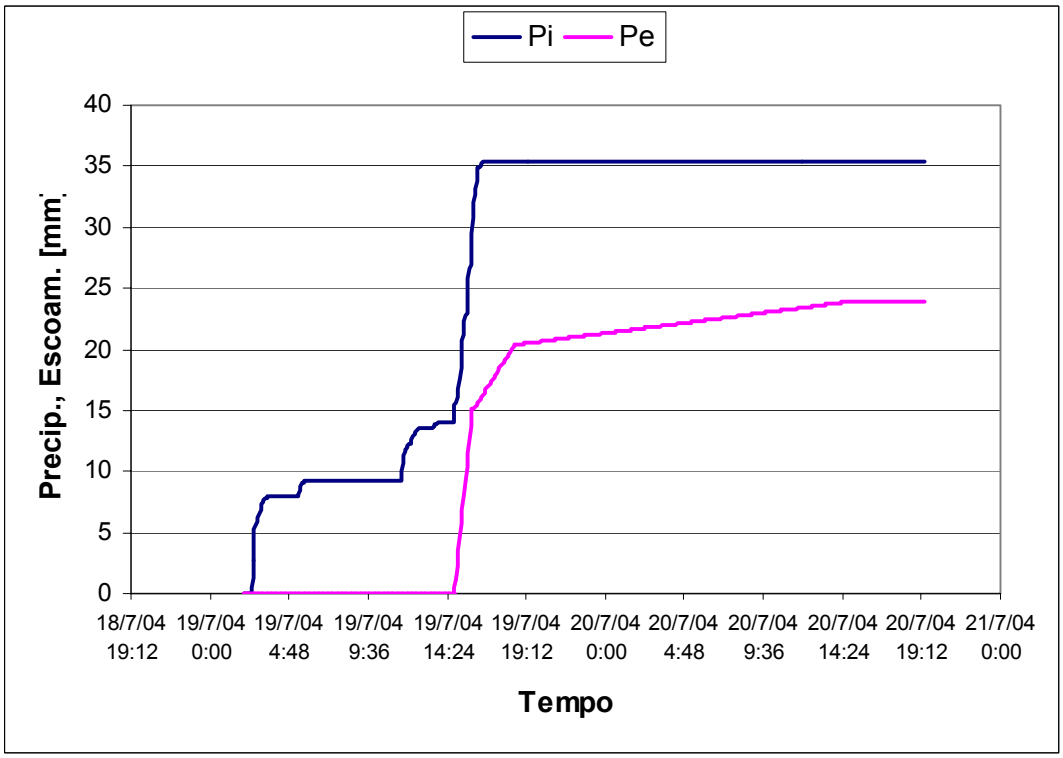


Tabela 4.1.1 –Resumo dos eventos de chuva.

Evento	Data Início	Data Termino	Pi (mm)	Pe (mm)	Ia (mm)	Abs (mm)	T.esc (h)	P.a (mm)
1	12/6/04 8:40	13/6/04 13:00	16,77	12,81	14,4	3,96	23,33	0
2	14/6/04 19:35	14/6/04 20:00	6,58	0	0	6,58	0	16,77
3	15/6/04 7:35	15/6/04 8:00	0,93	0	0	0,93	0	23,35
4	10/7/04 9:25	10/7/04 14:35	11,6	0	0	11,6	0	0
5	18/7/04 19:50	18/7/04 21:55	2,43	0	0	2,43	0	0
6	19/7/04 2:35	20/7/04 15:00	35,41	23,93	15,2	11,48	23,6	2,43

Sendo *Pi* o total precipitado no evento; *Pe* o total Escoado no evento; *Ia* a lâmina de imbibição (absorção de água até o início do escoamento); *Abs* a absorção total de água no evento; *T.esc* o tempo de escoamento de água no evento e *P.a* a precipitação total nos 5 dias anteriores ao evento. Segundo a tabela 4.1.1, onde estão resumidos os eventos de chuva, podemos concluir que o telhado absorve entre absorção pela umidade do solo e evapotranspiração cerca de 14mm de água (considerando o solo bem seco, como foi o caso), ou seja, podemos dizer que o armazenamento máximo (*Smax*) da CVL até o início do escoamento é de 14mm de chuva. Ocasionando desta forma um retardo no escoamento fluvial de até 14mm de chuva.

4.2 Balanço hídrico da CVL nos eventos de chuva

Seguindo a metodologia empregada para a execução do gráfico de balanço hídrico para intervalos de 5min seqüencialmente para os eventos de chuva / escoamento, temos desde a instalação de todos os equipamentos necessários ao monitoramento, diversos eventos demonstrados no gráfico 4.2.1 e gráfico 4.2.2.

Gráfico 4.2.1 – Balanço Hídrico Julho/2004

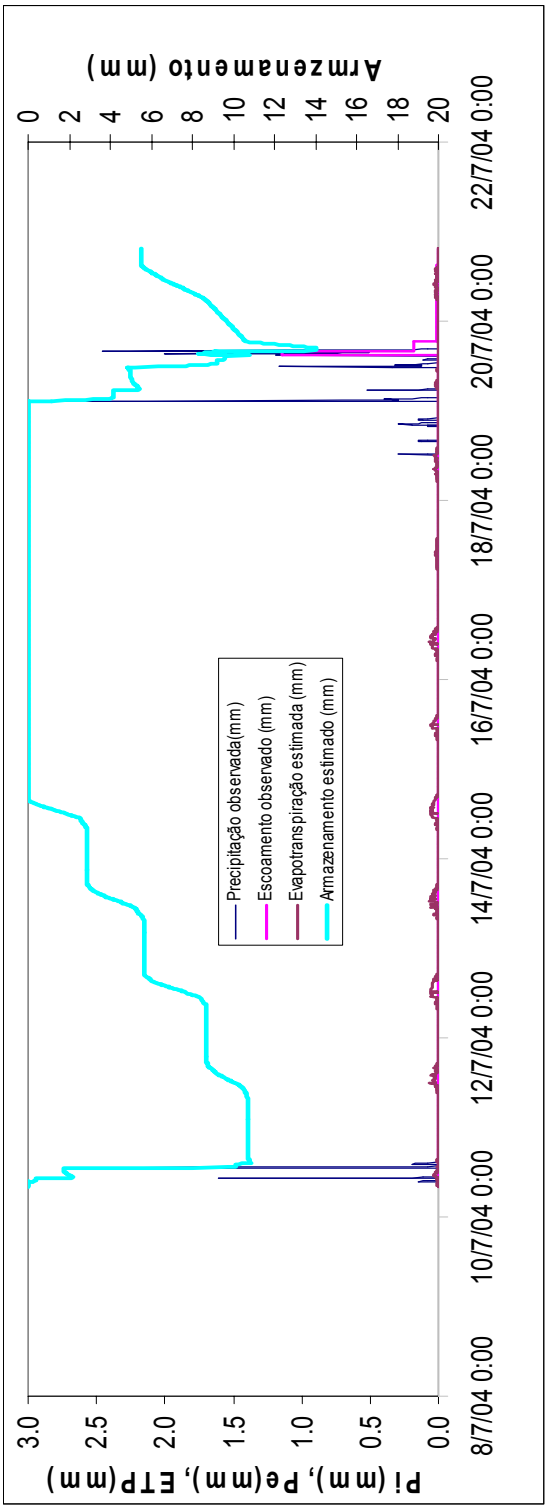
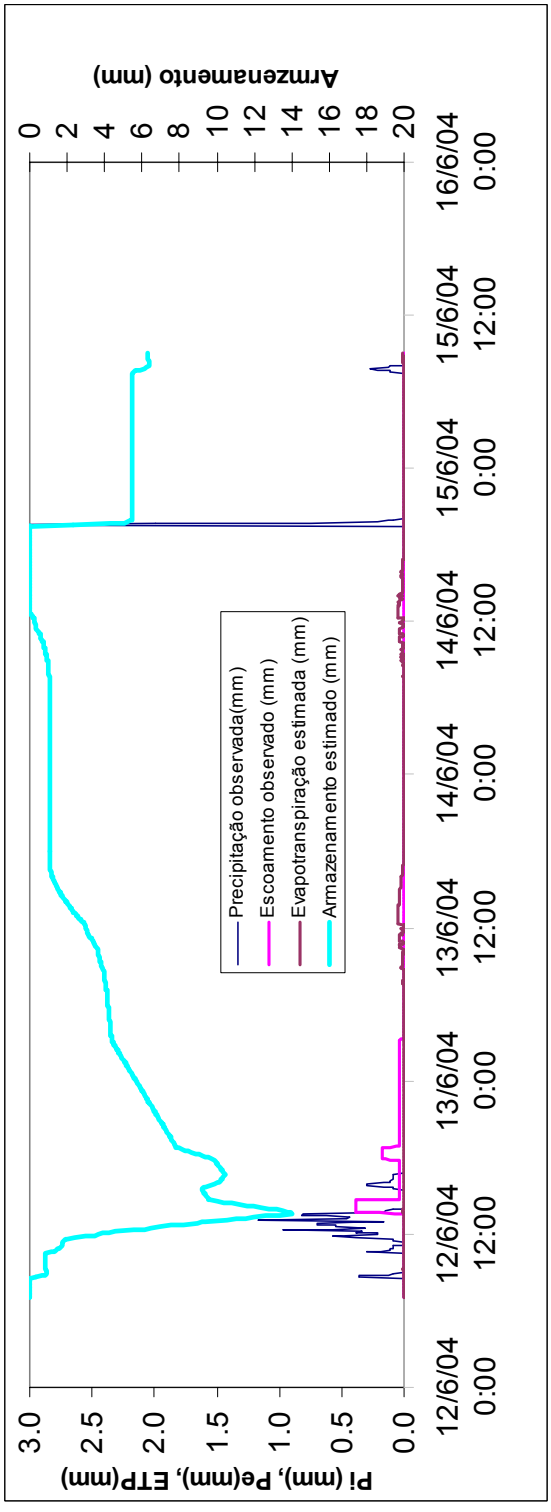


Gráfico 4.2.1 – Balanço Hídrico Junho/2004



Conforme observado nos gráficos 4.2.1 e 4.2.2 a Cobertura Verde Leve demonstrou ser capaz de absorver a água pluvial no momento no momento de maior intensidade de chuva, ocasionando desta forma um retardo de escoamento para a rede pública de coleta de águas pluviais de até 14mm de chuva, diminuindo conseqüentemente a vazão de pico na rede de drenagem ajudando desta forma na prevenção de enchentes. Ainda observando os gráficos 4.2.1 e 4.2.2, podemos concluir que a evapotranspiração tem pouca influência nos resultados obtidos nesta fase do projeto, sendo o armazenamento influenciado pelo volume de substrato (solo) que a CVL dispõe, no entanto a CVL requer mais estudos em função dos poucos eventos de chuva ocorridos e estes ocorridos no período de seca. Sendo assim é recomendável a continuação por mais 12 meses de projeto para que a CVL seja analisada também no período de chuvas.

4.3 Evapotranspiração Potencial (ETP)

Conforme a metodologia empregada foi calculada a ETP diária nos meses subseqüentes a instalação da instalação meteorológica. Os resultados estão apresentados nas tabela 4.3.1, tabela 4.3.2, tabela 4.3.3 e tabela 4.3.4 e tem finalidade de estimar a rega por aspersão ou não no telhado verde conforme o evapotranspirado.

Em relação a manutenção do telhado e a estimativa de rega, manteve-se a CVL sem rega por períodos longos como uma ou duas semanas (inclusive sem chuva) tendo a mesma se comportado bem embora a grama já começasse a demonstrar coloração amarela devido a seca imposta a mesma. O ideal para a CVL seria uma rega diária da ordem de 2 a 3 mm de água ou ainda, conforme o simulado, uma rega semanal da ordem de 15mm para o caso do telhado não ter um sistema de aspersão para sua manutenção. Recomenda-se ainda o uso do produto NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) a cada três meses para repor estes nutrientes à CVL, é importante

ressaltar que desde que a CVL ficou pronta (fevereiro/2004) não houve necessidade de poda da grama, sendo que esta apresenta atualmente de 1,5 a 2,0 cm de comprimento.

Tabela 4.3.1 – Evapotranspiração Potencial do mês de Abril

EVAPOTRANSPIRAÇÃO - ABRIL										
Date	**Pressáo (mb)**	**Iv (J/kg)**	**ε (KPa/ºC)**	**ε* (KPa/ºC)**	**e (Pa)**	**es (Pa)**	**Δ (Pa/ºC)**	**rad. líquid. (MJ/m2)**	**fluxo de calor no solo**	**ETP mm/dia**
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1015,42	2450617,00	0,07	0,08	2082,78	2476,38	152,19	1,30	0,00	0,48
7	1010,10	2448791,28	0,07	0,08	2087,02	2596,60	158,63	16,59	0,00	4,76
8	1010,73	2443780,38	0,07	0,07	2010,79	2953,13	177,49	11,66	0,00	3,53
9	1011,44	2445263,57	0,07	0,08	2047,74	2843,40	171,72	17,96	0,00	5,40
10	1009,99	2448790,46	0,07	0,09	1901,78	2596,65	158,63	15,09	0,00	4,50
11	1008,23	2447560,47	0,07	0,08	1918,97	2680,49	163,10	15,94	0,00	4,78
12	1009,60	2445928,14	0,07	0,08	1976,48	2795,40	169,19	14,09	0,00	4,27
13	1013,37	2449167,40	0,07	0,08	2015,00	2571,42	157,28	8,35	0,00	2,50
14	1013,69	2452276,38	0,07	0,09	2049,34	2371,37	146,54	2,68	0,00	0,93
15	1013,34	2452036,28	0,07	0,08	1982,55	2386,32	147,34	13,29	0,00	3,72
16	1014,37	2451143,08	0,07	0,09	1976,18	2442,66	150,38	12,78	0,00	3,66
17	1014,88	2447098,31	0,07	0,08	2048,58	2712,60	164,80	15,90	0,00	4,68
18	1013,62	2444178,63	0,07	0,08	2077,48	2923,31	175,92	19,72	0,00	5,89
19	1011,86	2445965,01	0,07	0,08	2129,09	2792,76	169,05	12,12	0,00	3,72
20	1012,22	2450249,89	0,07	0,07	2015,49	2500,16	153,47	8,20	0,00	2,39
21	1014,38	2447323,65	0,07	0,08	2098,25	2696,90	163,97	11,31	0,00	3,38
22	1013,86	2445807,68	0,07	0,08	1954,36	2804,05	169,64	16,71	0,00	5,09
23	1011,91	2446038,87	0,07	0,08	1820,37	2787,47	168,77	11,49	0,00	3,58
24	1009,72	2445669,19	0,07	0,07	1979,58	2814,02	170,17	8,45	0,00	2,55
25	1012,33	2453070,42	0,07	0,09	1962,20	2322,51	143,89	7,76	0,00	2,27
26	1015,34	2456257,24	0,07	0,09	1681,66	2135,16	133,68	9,08	0,00	2,63
27	1016,60	2454864,18	0,07	0,08	1724,44	2215,36	138,07	9,46	0,00	2,66
28	1018,45	2454017,69	0,07	0,08	1592,76	2265,37	140,79	14,50	0,00	4,13
29	1018,34	2454154,54	0,07	0,08	1318,75	2257,22	140,35	15,42	0,00	4,58
30	986,94	2454993,65	0,07	0,07	1155,95	2207,80	137,66	12,76	0,00	3,73

Tabela 4.3.2 – Evapotranspiração Potencial do mês de Maio.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO - Maio										
Date	**Pressáo (mb)**	**lv (J/kg)**	**ε (KPa/ºC)**	**ε* (KPa/ºC)**	**e (Pa)**	**es (Pa)**	**Δ (Pa/ºC)**	**rad. líquid. (MJ/m2)**	**fluxo de calor no solo**	**ETP mm/dia**
1	1012,84	2451483,97	0,07	0,08	1255,74	2421,02	149,21	12,82	0,00	3,98
2	1014,34	2447846,46	0,07	0,08	1443,20	2660,79	162,05	13,85	0,00	4,40
3	1015,11	2445230,79	0,07	0,08	1550,86	2845,79	171,84	12,89	0,00	4,07
4	1015,05	2446703,33	0,07	0,08	1743,33	2740,31	166,27	12,56	0,00	3,87
5	1014,78	2449754,94	0,07	0,08	1913,55	2532,53	155,20	8,62	0,00	2,57
6	1015,92	2455228,83	0,07	0,07	1917,79	2194,12	136,91	3,48	0,00	1,00
7	1015,53	2457435,48	0,07	0,07	1834,21	2069,32	130,07	0,74	0,00	0,27
8	1017,58	2462291,63	0,07	0,08	1522,01	1816,34	116,03	1,02	0,00	0,37
9	1017,99	2463510,96	0,07	0,07	1213,23	1757,25	112,72	11,93	0,00	3,08
10	1016,64	2460467,54	0,07	0,07	1398,53	1907,99	121,15	12,37	0,00	3,27
11	1015,85	2457966,15	0,07	0,07	1479,07	2040,25	128,47	13,61	0,00	3,68
12	1014,00	2451805,19	0,07	0,08	1548,67	2400,78	148,12	13,72	0,00	4,03
13	1013,32	2457761,74	0,07	0,07	1651,52	2051,41	129,08	1,06	0,00	0,38
14	1013,58	2457360,38	0,07	0,08	1795,24	2073,46	130,30	1,30	0,00	0,51
15	1014,73	2463306,92	0,07	0,07	1637,13	1767,02	113,26	-1,69	0,00	0,00
16	1018,59	2466647,79	0,07	0,07	1205,37	1612,91	104,55	13,17	0,00	3,27
17	1017,69	2464271,40	0,07	0,07	1113,98	1721,26	110,69	13,72	0,00	3,53
18	1018,68	2463945,26	0,07	0,07	1453,39	1736,61	111,55	10,23	0,00	2,59
19	1020,67	2460018,49	0,07	0,07	1601,26	1931,17	122,43	9,17	0,00	2,42
20	1021,63	2461096,88	0,07	0,08	1641,11	1875,92	119,36	6,77	0,00	1,78
21	1020,28	2460583,03	0,07	0,09	1557,03	1902,07	120,82	13,03	0,00	3,38
22	1018,96	2458574,63	0,07	0,08	1643,88	2007,36	126,65	13,84	0,00	3,66
23	1018,38	2455232,11	0,07	0,08	1761,92	2193,93	136,90	8,47	0,00	2,39
24	1017,07	2452922,10	0,07	0,08	1822,35	2331,57	144,38	10,31	0,00	2,93
25	1014,02	2453548,15	0,07	0,08	1983,11	2293,54	142,32	7,55	0,00	2,14
26	1018,59	2470964,63	0,07	0,08	1209,86	1431,31	94,15	4,56	0,00	1,14
27	1021,97	2473685,18	0,07	0,07	1064,97	1326,33	88,05	10,82	0,00	2,48
28	1022,21	2468544,81	0,07	0,08	1104,00	1530,76	99,87	12,15	0,00	3,01
29	1020,64	2462856,22	0,07	0,08	1409,46	1788,77	114,49	5,97	0,00	1,66
30	1018,79	2455607,42	0,07	0,09	1707,55	2172,25	135,71	12,75	0,00	3,54
31	1018,08	2458264,06	0,07	0,08	1624,61	2024,09	127,58	3,31	1,00	0,75

Tabela 4.3.3 – Evapotranspiração Potencial do mês de Junho.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO - JUNHO										
Date	**Pressáo (mb)**	**lv (J/kg)**	**ε (KPa/ºC)**	**ε* (KPa/ºC)**	**e (Pa)**	**es (Pa)**	**Δ (Pa/ºC)**	**rad. líquid. (MJ/m2)**	**fluxo de calor no solo**	**ETP mm/dia**
1	1018,90	2458741,79	0,07	0,07	1584,43	1998,41	126,16	8,05	0,00	2,19
2	1019,83	2460571,61	0,07	0,07	1663,31	1902,66	120,85	0,70	0,00	0,20
3	1019,01	2463399,51	0,07	0,07	1624,82	1762,58	113,02	-0,67	0,00	0,00
4	1020,05	2467855,11	0,07	0,07	1229,26	1560,19	101,55	8,80	0,00	2,19
5	1020,56	2466976,39	0,07	0,08	1260,36	1598,41	103,73	8,85	0,00	2,23
6	1021,07	2463898,56	0,07	0,07	1211,50	1738,82	111,68	11,51	0,00	2,97
7	1021,68	2461564,78	0,07	0,07	1087,64	1852,39	118,05	10,35	0,00	2,82
8	1019,47	2458492,68	0,07	0,08	1083,63	2011,76	126,90	10,74	0,00	3,23
9	1018,33	2455239,22	0,07	0,07	1419,96	2193,51	136,88	3,47	0,00	1,12
10	1018,32	2451479,88	0,07	0,08	1673,04	2421,28	149,23	10,57	0,00	3,20
11	1018,99	2452444,36	0,07	0,08	1624,55	2360,96	145,97	11,98	0,00	3,52
12	1022,70	2463998,53	0,07	0,07	1536,36	1734,10	111,41	-6,15	0,00	0,00
13	1026,37	2474897,14	0,07	0,08	995,02	1281,78	85,45	10,80	0,00	2,46
14	1022,85	2464150,13	0,07	0,08	1392,54	1726,95	111,01	8,63	0,00	2,26
15	1021,65	2461001,63	0,07	0,08	1532,00	1880,75	119,63	14,11	0,00	3,64
16	1019,91	2452863,04	0,07	0,08	1364,00	2335,18	144,58	16,53	0,00	4,74
17	1020,45	2455920,44	0,07	0,08	1345,47	2154,31	134,73	7,83	0,00	2,32
18	1021,42	2455691,82	0,07	0,07	1229,02	2167,40	135,45	6,71	0,00	1,94
19	1024,17	2457669,14	0,07	0,08	1241,24	2056,48	129,36	9,35	0,00	2,87
20	1022,31	2456840,68	0,07	0,08	1233,73	2102,33	131,88	9,17	0,00	2,91
21	1020,92	2455405,83	0,07	0,08	1324,20	2183,87	136,35	7,46	0,00	2,38
22	1020,51	2456600,58	0,07	0,07	1299,22	2115,79	132,62	6,50	0,00	1,94
23	1020,62	2456122,85	0,07	0,07	1194,45	2142,78	134,10	8,39	0,00	2,50
24	1017,57	2454067,68	0,07	0,08	1360,03	2262,39	140,63	8,93	0,00	2,77
25	1016,71	2453345,39	0,07	0,08	1575,35	2305,79	142,99	5,90	0,00	1,89
26	1017,49	2451116,04	0,07	0,08	1528,25	2444,38	150,47	10,80	0,00	3,34
27	1018,13	2451962,53	0,07	0,08	1454,31	2390,92	147,59	9,74	0,00	3,11
28	1017,43	2450829,24	0,07	0,08	1497,82	2462,73	151,46	10,51	0,00	3,27
29	1018,49	2451538,06	0,07	0,08	1491,44	2417,60	149,03	9,02	0,00	2,98
30	1019,20	2452905,71	0,07	0,08	1512,85	2332,57	144,44	10,64	0,00	3,30

Tabela 4.3.4 – Evapotranspiração Potencial do mês de Julho.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO - JULHO										
Date	**Pressáo (mb)**	**lv (J/kg)**	**ε (KPa/ºC)**	**ε* (KPa/ºC)**	**e (Pa)**	**es (Pa)**	**Δ (Pa/ºC)**	**rad. líquid. (MJ/m2)**	**fluxo de calor no solo**	**ETP mm/dia**
1	1.017,45	2.452.883,58	0,07	0,08	1.517,46	2.333,92	144,51	10,50	0,00	3,13
2	1.019,94	2.451.102,30	0,07	0,08	1.530,44	2.445,26	150,52	9,46	0,00	2,86
3	1.016,51	2.451.197,17	0,07	0,08	1.508,84	2.439,21	150,19	10,90	0,00	3,28
4	1.016,63	2.451.143,08	0,07	0,07	1.455,33	2.442,66	150,38	9,15	0,00	2,68
5	1.017,14	2.451.311,89	0,07	0,07	1.498,50	2.431,92	149,80	10,40	0,00	3,06
6	1.016,12	2.455.051,83	0,07	0,08	1.633,56	2.204,41	137,47	11,12	0,00	3,14
7	1.013,19	2.452.468,13	0,07	0,08	1.488,03	2.359,49	145,89	6,94	0,00	2,29
8	1.011,48	2.453.389,17	0,07	0,08	1.503,94	2.303,14	142,84	7,50	0,00	2,38
9	1.012,07	2.458.460,72	0,07	0,08	1.654,76	2.013,48	126,99	0,83	0,00	0,38
10	1.013,13	2.461.172,26	0,07	0,08	1.685,03	1.872,11	119,15	-1,34	0,00	0,00
11	1.017,10	2.464.784,38	0,07	0,09	1.500,20	1.697,34	109,34	5,91	0,00	1,52
12	1.018,55	2.463.609,29	0,07	0,10	1.411,78	1.752,56	112,45	12,85	0,00	3,26
13	1.016,97	2.455.802,44	0,07	0,10	1.597,61	2.161,06	135,10	10,59	0,00	3,17
14	1.017,13	2.452.747,56	0,07	0,08	1.554,68	2.342,27	144,96	13,42	0,00	3,97
15	1.017,41	2.453.189,63	0,07	0,07	1.569,56	2.315,25	143,50	6,93	0,00	2,08
16	1.017,92	2.451.334,83	0,07	0,08	1.623,43	2.430,46	149,72	11,26	0,00	3,32
17	1.020,72	2.464.002,63	0,07	0,11	1.433,90	1.733,90	111,40	-0,14	0,00	0,47
18	1.022,19	2.466.460,96	0,07	0,09	1.373,52	1.621,20	105,03	2,16	0,00	0,76
19	1.020,47	2.468.893,89	0,07	0,09	1.415,29	1.516,05	99,02	-0,73	0,00	0,00
20	1.022,60	2.469.793,64	0,07	0,09	1.314,61	1.478,70	96,88	3,00	0,00	0,83
21	1.023,60	2.468.890,91	0,07	0,10	1.138,30	1.516,17	99,03	10,25	0,00	2,65
22	1.024,31	2.469.710,88	0,07	0,08	1.019,05	1.482,11	97,07	13,23	0,00	3,28
23	1.024,96	2.467.843,36	0,07	0,08	952,35	1.560,70	101,58	12,25	0,00	3,16
24	1.026,55	2.467.413,15	0,07	0,08	844,33	1.579,31	102,64	13,48	0,00	3,50
25	1.025,30	2.465.546,46	0,07	0,08	912,85	1.662,35	107,36	14,35	0,00	3,84
26	1.025,60	2.465.593,99	0,07	0,08	983,95	1.660,19	107,24	14,56	0,00	3,76
27	1.024,50	2.463.687,36	0,07	0,08	1.020,99	1.748,84	112,24	14,84	0,00	3,99
28	1.023,20	2.461.976,14	0,07	0,08	1.055,45	1.831,91	116,90	13,76	0,00	3,84
29	1.022,69	2.463.385,58	0,07	0,08	1.123,76	1.763,25	113,05	13,32	0,00	3,57
30	1.020,90	2.459.948,83	0,07	0,08	1.160,20	1.934,78	122,63	8,16	0,00	2,39
31	1.018,28	2.457.179,11	0,07	0,08	1.138,90	2.083,49	130,85	12,22	1,00	3,47

4.4 Qualidade da água coletada da CVL

Infelizmente, em função da greve realizada por professores e funcionários da USP que coincidiu com os eventos de chuva ocorridos no período desta pesquisa, não foi possível realizar a análise da qualidade da água pluvial coletada da CVL (água esta que é filtrada pela camada de terra e pelo leito drenante da cobertura) e também da qualidade da água pluvial coletada pelo amostrador seqüencial. Equipamento este que tem a finalidade de coletar água da chuva sem influencia de agregados originados, como poeira, pelo escoamento da água até caixas d'água. Isto só é possível devido a um sensor de chuva instalado junto ao equipamento, que abre a proteção acima dos coletores permitindo desta forma o acúmulo de água nos recipientes internos do equipamento sem influências externas a chuva.

A qualidade da água pluvial coletada da CVL será realizada junto a uma possível renovação da bolsa de iniciação científica.

5. Análise de Viabilidade Econômica da Cobertura Verde

Na tabela 5.1, tabela 5.2 e tabela 5.3 são descritos os materiais usados na construção da CVL e para uma comparação são descritos também os materiais usados na construção de uma cobertura em telha cerâmica francesa comumente utilizada no Estado de São Paulo, assim como seus determinados custos de execução para a análise de viabilidade econômica. Estas tabelas são resultado da pesquisa sobre o método construtivo e materiais empregados na CVL desenvolvida por Danilo Valença Pereira Luz (Iniciação Científica – CNPQ) e orientado pelo Prof. Dr. Osny Pelegrino Ferreira.

Tabela 5.1 – Custo de fabricação e instalação da Laje.

Laje pré-fabricada 10 cm fck 18 Mpa				
Materiais	**Consumo / m²**		**Preço unitário**	**Preço por m²**
Laje (8cm)	1,00	m²	R$ 18,00	R$ 18,00
Cimento	11,09	Kg	R$ 18,90	R$ 4,19
Areia média	0,0018	m³	R$ 35,00	R$ 0,06
Brita 1	0,0074	m³	R$ 35,00	R$ 0,26
Brita 2	0,0172	m³	R$ 35,00	R$ 0,60
Ferro (3 a 5 mm)	0,30	Kg	R$ 1,64	R$ 0,49
Tabuas (1' x 30 cm)	0,59	m	R$ 4,20	R$ 2,48
Pontalete Pinus	1,06	m	R$ 2,15	R$ 2,28
Sarrafo Pinus (1' x 4')	0,67	m	R$ 0,75	R$ 0,50
prego 18 x 27	0,03	Kg	R$ 3,80	R$ 0,11
Pedreiro	0,35	horas	R$ 5,00	R$ 2,98
Servente	0,70	horas	R$ 3,13	R$ 3,72
Leis Sociais	170%			
			Preço total	R$ 35,68

Tabela 5.2 – Custo de fabricação e instalação Cobertura Verde Leve.

Cobertura Verde					
	Materiais	**Consumo / m²**		**Preço unitário**	**Preço por m² estimado para uma casa de 5 x 20 m**
Construção da platibanda por m¹	Tijolo comum	11,40	uni/m¹	R$ 0,15	R$ 0,86
	Cimento	2,30	Kg	R$ 18,90	R$ 0,43
	Areia	0,028	m³	R$ 35,00	R$ 0,49
	Cal hidratada	3,77	Kg	R$ 4,90	R$ 0,37
Imprimação	Cimento	2,00	Kg	R$ 18,90	R$ 0,76
	Areia fina	0,001	m³	R$ 35,00	R$ 0,04
	Látex SB	0,20	Kg	R$ 12,00	R$ 2,40
Impermeabilizante	Resina Poliuretana	0,30	Kg	R$ 22,00	R$ 6,60
Geocomposto	MacDrain 2L	1,00	m²	R$ 14,00	R$ 14,00
Pedreiro		0,80	horas		R$ 6,80
Servente		0,94	horas		R$ 4,99
Leis Sociais		170%			
				Preço total	R$ 37,73

Tabela 5.3 – Custo de fabricação e instalação Cobertura de Telha cerâmica.

Cobertura de telha cerâmica

Materiais	**Consumo / m²**	**Preço unitário**	**Preço por m²**
Telha francesa	16,00 uni	R$ 1,00	R$ 16,00
Pedreiro	0,50 horas		R$ 4,25
Servente	1,00 hora		R$ 5,31
Leis Sociais	170%		

Estrutura de madeira

Materiais	Consumo	Preço unitário	Preço por m²
Madeira (6 x 12)	0,025 m³	R$ 5,20	R$ 0,13
Prego	0,12 Kg	R$ 3,80	R$ 0,46
Ferragem	0,18 Kg	R$ 1,64	R$ 0,30
Carpinteiro	1,20 h		R$ 12,75
Ajudante	1,20 h		R$ 6,38
Leis Sociais	170%		

Emboçamento de cumieira / m¹

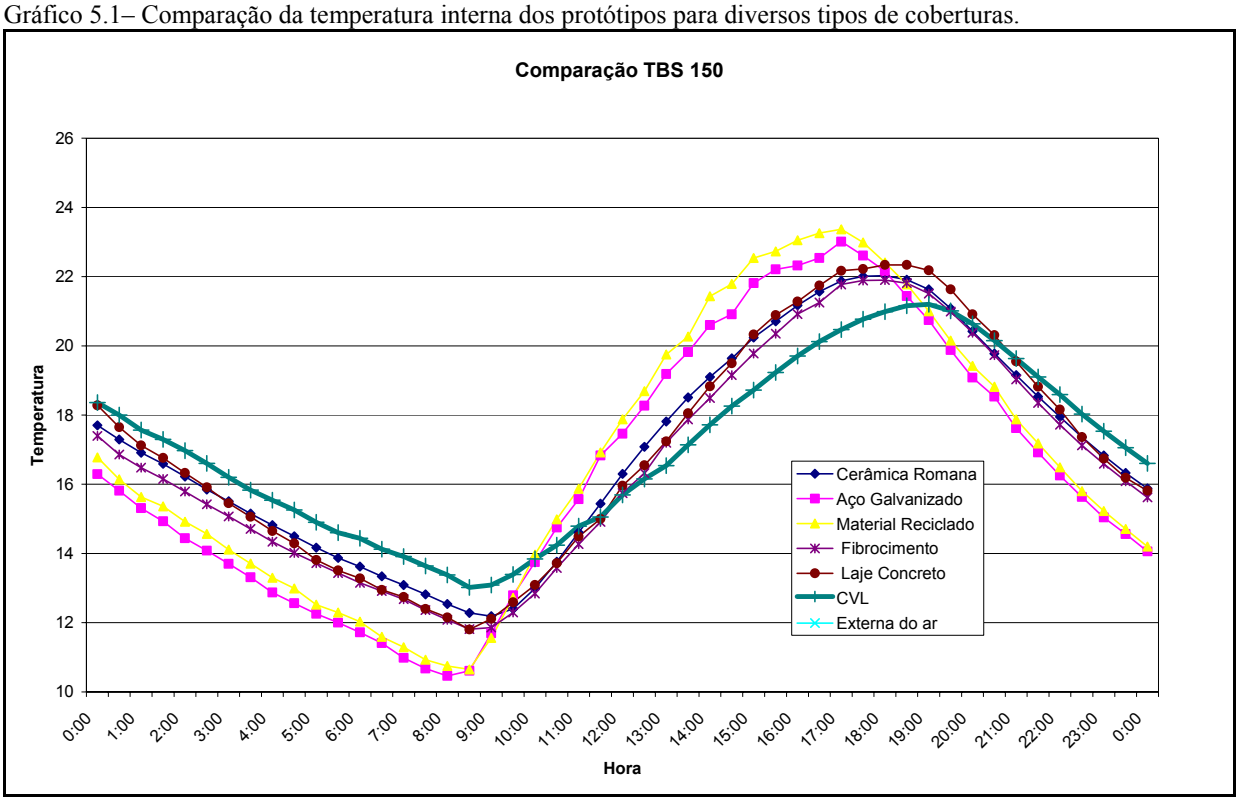
	Materiais	Consumo / m¹	Preço unitário	Preço por m² estimado para uma casa de 5 x 20 m
	Cumieira	3,00 uni/m¹	R$ 1,00	R$ 0,60
	Cal hidratada	0,61 Kg	R$ 4,90	R$ 0,02
	areia média	0,0024 m³	R$ 35,00	R$ 0,02
Argamassa	Cimento	0,20 Kg	R$ 18,90	R$ 0,02
			Preço total	R$ 46,22

O custo total de implantação de uma Cobertura Verde Leve (CVL) é de R$ 73,41/m², enquanto o custo total de implantação de uma cobertura de telha cerâmica é de R$ 81,90/m². Estes valores representam a implantação da cobertura mais a laje para ambas, no caso da CVL a laje é essencial ao sistema, já a cobertura tradicional pode ser implementada sem a execução da laje o que abaixaria o seu custo total para R$ 46,22/m², em contra partida teremos que prever um isolamento térmico adequado para esta cobertura já que sem a laje esta não protegerá adequadamente a

edificação contra o calor e frio, causando desta forma um desconforto térmico no ambiente em questão que acarreta na menor produtividade em um ambiente de trabalho, ou então na falta de concentração mental em ambientes de estudo ou ainda no desconforto psicológico em qualquer situação, inclusive em uma residência que é um local para descanso e não desconforto físico.

A variação típica da temperatura ambiente dentro do protótipo de CVL, em comparação com outras coberturas, pode ser observado na figura 5.1. Resultado este obtido na pesquisa de desempenho térmico da CVL realizado por Marcos P. Lima (Iniciação Científica – CNPQ) orientado pelo Prof. Dr. Francisco Vecchia.

Gráfico 5.1– Comparação da temperatura interna dos protótipos para diversos tipos de coberturas.



6. Conclusões

Conforme os resultados apresentados neste relatório a CVL apresentou uma capacidade absorção de água pluvial, partindo de um solo seco, de aproximadamente 14mm e ainda demonstrou ser capaz de absorver a água pluvial no momento de maior intensidade de chuva. Isto comprova que a CVL gera o retardamento no escoamento de águas pluviais equivalente a 14mm de chuva, se comparados com uma cobertura tradicional (Telha), observa-se (Figura 2.1) que esta teria destinado diretamente a rede pública de drenagem urbana a maior parte deste montante, ocasionando assim, um super fluxo que muitas vezes gera as famosas inundações. Com isto fica implícita a eficácia da CVL no que tange o combate e prevenção de enchentes, principalmente quando comparamos o custo da mesma em relação aos "piscinões", tecnologia freqüentemente utilizada no combate a enchentes no estado de São Paulo.

Infelizmente, como já relatado no ítem 4.4 deste relatório, não foi possível realizar a análise da qualidade da água pluvial coletada da CVL, não obtemos, portanto, parâmetros necessários a determinação do reuso da mesma e comprovação dos benefícios do reuso, uma vez que o problema da escassez de água nas médias e grandes cidades vem se tornando evidente e a utilização da água tratada pelas concessionárias se voltaria apenas para o essencial. A qualidade da água pluvial coletada da CVL será realizada junto a uma possível renovação da bolsa de iniciação científica.

A CVL através de seu sistema construtivo demonstrou grande resistência a radiação solar, visto que a mesma (devido a testes) chegou a ficar sem irrigação e sem chuva que a fizesse durante duas semanas, apresentando em contrapartida o aparecimento de diversas folhas amarelas originadas da rígida seca imposta ao telhado, vale ressaltar que durante estas duas semanas as condições climáticas eram agressivas à CVL (elevada radiação solar incidente e baixa umidade

relativa do ar). Isto demonstra que o telhado pode ser regado diariamente por aspersão com aproximadamente 2mm/m2 conforme pode ser verificado no ítem 4.3 deste relatório ou ainda com uma rega semanal de aproximadamente 15mm/m2 devido a resistência apresentada pela CVL. Ainda quanto a manutenção da CVL, é necessária a utilização do produto NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) a cada três meses para repor estes nutrientes à CVL, é importante ressaltar que desde que a CVL ficou pronta (fevereiro/2004) não houve necessidade de poda da grama, sendo que esta apresenta atualmente de 1,5 a 2,0 cm de comprimento.

Quanto à viabilidade econômica da CVL podemos destacar que esta se demonstra não só mais barata do ponto de vista financeiro, se levado em conta a construção da laje para ambos sistemas de cobertura (CVL e telha francesa) conforme o item 5 deste relatório, como também apresenta ótimo desempenho térmico em comparação com outros sistemas de cobertura, também conforme o item 5 deste relatório, o que torna a residência ou edifício comercial, industrial ou escolar muito mais agradável termicamente. O que leva a melhores condições de trabalho, que resulta em aumento da produtividade numa empresa ou industria, ou ainda melhora no rendimento escolar no caso de uma escola e por último ao descanso merecido do morador de uma residência que não se encontraria estressado devido ao desconforto térmico, vale ressaltar ainda que o custo energético ao final do mês seria considerável já que o ar condicionado entraria praticamente em desuso. Aliado a isto a CVL emprega materiais de menor impacto ambiental conforme demonstrado no item 3.1 deste relatório demonstrando com isso também eficiência do ponto de vista sustentável na parte de construção da CVL. Devido a todos estes fatores descriminados a Cobertura Verde Leve é comprovadamente mais viável do que outras.

No que diz respeito ao desenvolvimento desta pesquisa, foi apresentado no relatório anterior desta pesquisa (Relatório Semestral – março/2004) o chamado protótipo 02, que constitui em uma mesa dividida em dois compartimentos destinada para o estudo comparativo de dois recobrimentos

vegetais diferentes para a CVL, não foi possível o seu desenvolvimento devido a patologias desenvolvidas no protótipo (fissuras, trincas) geradas em função da dilatação térmica da placa cimentícia em relação à platibanda, conforme figura 6.1 e figura 6.2. Para que os demais objetivos da pesquisa não fossem prejudicados optou-se por abandonar momentaneamente este protótipo concentrando forças nos demais itens da pesquisa. O protótipo em questão será reformado e terá grande importância no desenvolvimento de uma possível renovação da pesquisa a ser detalhada no ítem 8 deste relatório.

Figura 6.1 – Patologia protótipo 02

Figura 6.2 - Patologia protótipo 02

7. Considerações Finais

A CVL demonstrou ser uma ferramenta útil no combate e prevenção às enchentes, assim como necessita de pouca manutenção e ainda comprovou ser economicamente viável sobre diversos aspectos. Embora todas essas considerações favoráveis a CVL é necessário ainda o aprimoramento da pesquisa sobre a CVL no que tange os seguintes tópicos:

1. Máxima taxa de infiltração da água pluvial na CVL, determinando conseqüentemente a máxima intensidade de chuva comportada pela mesma sem necessidade de drenos superiores para coleta do escoamento superficial;
2. O estudo do escoamento de água pluvial para diferentes inclinações de telhado;

3. Estudo da qualidade da água pluvial para determinação do seu respectivo reuso;
4. Simulação de diversos cenários para o meio urbano utilizando a CVL como método construtivo para residências, comércios e industrias para comparação da redução do escoamento de água pluvial no pico de chuva e a sua influência na prevenção de enchentes;

8. Projeto de Renovação

8.1 Objetivos

Justificado na necessidade do aprimoramento da pesquisa em Coberturas Verdes Leves conforme item 7 deste relatório, assim como no correto desenvolvimento de políticas públicas de desenvolvimento sustentável no que diz respeito a diversos incentivos a construção de CVL´s em áreas urbanizadas (como incentivo fiscal) desenvolve-se uma proposta de renovação da bolsa de iniciação científica que tem como objetivos:

1. Máxima taxa de infiltração da água pluvial na CVL, determinando conseqüentemente a máxima intensidade de chuva comportada pela mesma sem necessidade de drenos superiores para coleta do escoamento superficial;
2. O estudo do escoamento de água pluvial para diferentes inclinações de telhado;
3. Estudo da qualidade da água pluvial para determinação do seu respectivo reuso;
4. Simulação de diversos cenários para o meio urbano utilizando a CVL como método construtivo para residências, comércios e industrias para comparação da redução do escoamento de água pluvial no pico de chuva e a sua influência na prevenção de enchentes;

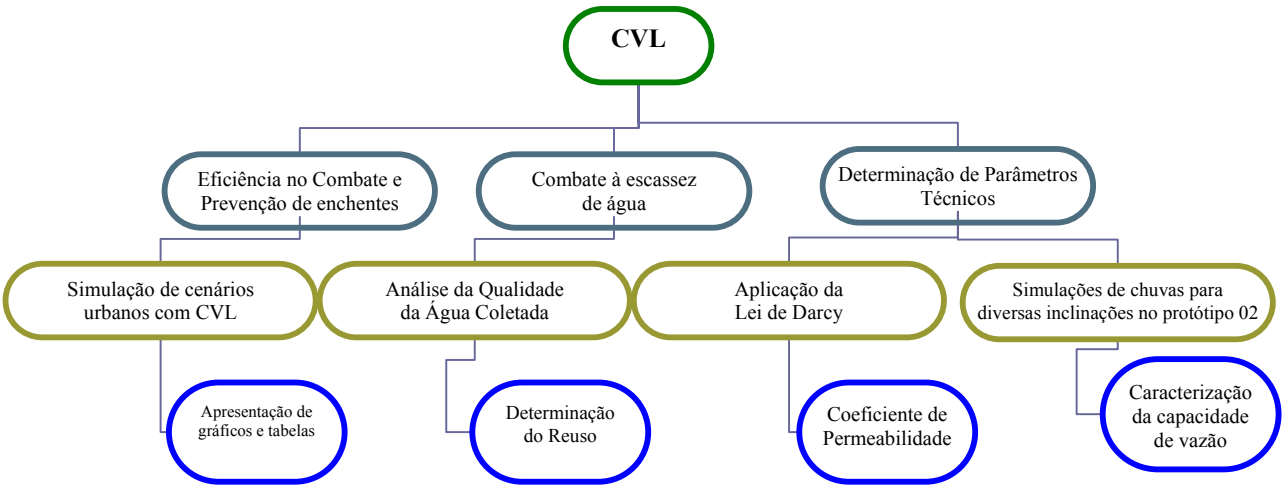
5. Manutenção e monitoramento dos protótipos existentes.

Com a simulação de diversos cenários urbanos em que a CVL estará inserida a fim de determinar a sua influência benéfica no combate e prevenção de enchentes através de dados simulados e reais de chuvas e enchentes ocorridas na cidade de São Carlos, estima-se impulsionar o uso de CVL´s através do incentivo político, visto que através das simulações pretende-se provar que a CVL é um método barato e eficiente de combate e prevenção a enchentes.

A análise da qualidade da água para reuso tem sua importância na prevenção à escassez da água para os diversos tipos de consumo humano. A proposta de reuso para a CVL consiste em aproveitar a água pluvial filtrada nas diversas camadas da mesma (figura 2.2) para uso a ser definido conforme a análise química da sua qualidade durante todo o período desta pesquisa. Buscamos desta forma solucionar o problema da escassez em escala de lote urbano utilizando a água tratada pela concessionária apenas para o essencial.

Quanto o que diz respeito à máxima taxa de infiltração da água pluvial na CVL e ao estudo do escoamento de água pluvial para diferentes inclinações de telhado, pretende-se apresentar parâmetros de projeto para a construção de CVL's de forma que a mesma possa estar finalmente em condições de ser inserida no mercado nacional e apresentada a profissionais do setor como uma alternativa viável e com parâmetros de escoamento e dimensionamento completos para seu emprego.

8.2 Fluxograma da Metodologia



8.3 Cronograma

Tabela 8.2.1 – Cronograma inicial.

Atividades:	Meses a partir da aprovação da bolsa													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
- Revisão Bibliográfica;	■	■	■											
- Implantação de Experimento;			■	■	■	■								
-Monitoramento ambiental:;	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
- Relatório Parcial;				■	■									
- Simulações de cenários;			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
-Simulações de chuvas						■	■	■	■	■	■	■		
- Análise da qualidade da água;	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
- Determinação do coef. de Permeabilidade;				■	■	■	■	■	■	■				
- Relatório Final.										■	■			
- Artigo científico (Submissão)												■		

9. Referências Bibliográficas

ABNT NBR-12190 (NB-279/90) – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Seleção da impermeabilização.

CAMPANA, N. A.; EID, N. J. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas, ABRH, Porto Alegre, RS, 2001, p. 507-530.

FINEP/FIPAI/DAEE-EESC (2003), Experimento Piloto de Gerenciamento de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos, SP. Escola de Engenharia de São Carlos *www.busplanodiretor.hpg.com.br* . Projeto GURH.03/2002. CT-HIDRO. Convênio Finep 01.02.0086.00

GUSMÃO, F.; SCHIMIT, M. Projeto de cooperação internacional entre FH-Neubrandenburg (Alemanha) e CEFET/RJ (Brasil) - *www.gruendach-mv.de/drenagem.htm (2003).*

HESPANHOL, I. (2002). Potencial de reuso de água no Brasil, agricultura, indústria, municípios, recarga de aqüíferos, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, RS, v.7, n.4, p. 75-95.

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. D. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas, ABRH, Porto Alegre, RS, 2001, p. 531-566.

MCT/CGE – Ministério de Ciência e Tecnologia/ Centro de Estudos e Gestão Estratégica (2001). *Diretrizes estratégicas para o Fundo de Recursos Hídricos de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasília, 2001.*

PIMENTEL, V. C., Projeto e execução de uma amostrador seqüencial automático de chuva, Diss. Mestrado Eng. Hidráulica e Saneamento, SHS/EESC/USP, Defendida 15/02/02, 2002;

RAINDROPS, G. (2002). Aproveitamento da água de chuva. Ed. Organic Trading, Curitiba, PR.

RIGHETTO, A. M. Hidrologia e recursos hídricos, EESC-USP, São Carlos, SP, 1998.

SECCHI, A., MAZZÓN, R. (2001) Nuevas contribuciones..., IN: A. Villanueva, J. Goldenfum, A. Silveira *"Soluções para a Drenagem Urbana em Países de América Latina"*, ABRH-IPH, Porto Alegre, RS. , p.144-158.

THE CARDINAL GROUP (2003) Public Benefits of Green Roofs *www.peck.ca/grhcc/public.htm (capturado em 26/05/03)*

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T.; (1995). Drenagem Urbana. Ed. Universidade UFRGS, Porto Alegre, RS.

VECCHIA, F. ; PELLEGRINO, O. ; Gestão de Políticas Públicas Voltadas ao Processo de Construção Habitacional e Transferência de Tecnologia. FAPESP processo 01/12915-6 (2002).

Aluno de I.C: Arã Pereira da S.R. da Cunha

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mário Mendiondo