

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO**  
**APLICADO AO PROCESSO DE PLANEJAMENTO URBANO**

**DÉBORA RIVA TAVANTI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr Ademir Paceli Barbassa.

São Carlos

2009

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

T231du

Tavanti, Débora Riva.

Desenvolvimento de baixo impacto aplicado ao processo de planejamento urbano / Débora Riva Tavanti. -- São Carlos : UFSCar, 2011.

151 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2009.

1. Planejamento urbano. 2. Desenvolvimento de baixo impacto. 3. Drenagem urbana. 4. Paisagens hidrológicamente funcionais. I. Título.

CDD: 711 (20<sup>a</sup>)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana  
C. P. 676 – 13.560-970 – São Carlos – SP  
Fone/FAX: (16) 3351-8295  
e-mail: [ppgeu@ufscar.br](mailto:ppgeu@ufscar.br)  
home-page: [www.ufscar.br/~ppgeu](http://www.ufscar.br/~ppgeu)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

DÉBORA RIVA TAVANTI

Dissertação defendida e aprovada em 15 de dezembro 2009  
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa  
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Nilo de Oliveira Nascimento  
(EHR/UFMG)

Prof. Dr. Luiz Antonio Nigro Falcoski  
(DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Archimedes Azevedo Raia Jr.  
Presidente da CPG-EU



*A todos que atuam  
por cidades melhores e por um mundo melhor!*



## AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais, Silvana e Marinho, e ao meu irmão Daniel por toda dedicação a minha formação, pelo apoio incondicional e por vibrar com minhas conquistas;

Ao Jean, por todo incentivo, companheirismo e amor;

Ao orientador Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa, pela oportunidade oferecida, pela paciência e ensinamentos despendidos;

Aos professores do PPGEU, por me acolherem;

Ao Prof. Dr. Nilo de Oliveira Nascimento e ao Prof. Dr. Luiz Antonio Nigro Falcoski pelas contribuições;

Aos meus queridos alunos de Arquitetura e Urbanismo, pela torcida;

Ao Eng. Paulo A. Romera (CTH/DAEE), ao Geól. José Luiz Albuquerque Filho (IPT), ao Tecn. Gerson Salviano de A. Filho (IPT), ao Biól. Roberto Teixeira de Lima (SMA), ao Eng. Jefferson Nascimento de Oliveira (UNESP), à Nívea, ao Alessandro Hirata (PPGEU) e à Biól. Mariana Hortelani Carneseca (IPT) pelas inúmeras contribuições;

À amiga Arq. Andréa Petisco (SMA) por todo carinho;

Aos amigos do DAEE/CBH-TG, Márcia, Tokio, Adrielli, Gabriel, Luiz Henrique, Fábio, Cláudia e Hélio, pela amizade e apoio;

Ao amigo, Eng. Paulo I. Sedoguchi, que nesses anos de convivência me ensinou amar a “drenagem urbana”, e não hesitou em contribuir para meu crescimento profissional;

Aos demais amigos sempre presentes e às pessoas que de forma indireta contribuíram para este trabalho.

Muito obrigada.



*“Quanto mais a cidade cresce, menos as condições naturais são nela respeitadas. Por condições naturais entende-se a presença, em proporção suficiente, de certos elementos indispensáveis aos seres vivos: Sol, espaço, vegetação. Uma expansão sem controle privou as cidades desses alimentos fundamentais de ordem psicológica e fisiológica. O indivíduo que perde contato com a natureza é diminuído e paga caro, com a doença e a decadência, uma ruptura que enfraquece seu corpo e arruína sua sensibilidade, corrompida pelas alegrias ilusórias da cidade”*

Le Corbusier  
(A Carta de Atenas. São Paulo: Hucitec/EDUSP, 1993)



## RESUMO

Áreas urbanas cada vez maiores são impermeabilizadas, reduzindo a capacidade de infiltração do solo e acelerando a velocidade do escoamento superficial, alterando significativamente o ciclo hidrológico, e gerando inundações. Encontra-se no Desenvolvimento de Baixo Impacto (Low Impact Development, LID), um conjunto de técnicas capazes de criar paisagens hidrológicamente funcionais, com comportamento similar ao natural, facilitando o desenvolvimento de planos adaptados a topografia natural, mantendo o rendimento do lote e as funções hidrológicas do local; visando a valorização estética e a gestão de controle de águas pluviais menos custosas. Este trabalho utiliza-se desta metodologia desde o início do processo de planejamento, trabalhando concomitantemente os aspectos urbanísticos, ambientais e hidrológicos, de modo a recuperar e/ou manter o comportamento hidrológico de pré-ocupação da área. Os recursos são, manter hidrologia local, reduzir impermeabilização, manter o tempo de concentração, manter as digitais locais, potencializar infiltração, dentre outros. Comparam-se as condições de pré-ocupação, urbanização convencional e urbanização com técnicas de LID, quanto aos aspectos mencionados para uma área do *Campus* da UFSCar, em São Carlos/SP. Como resultado essa pesquisa revelou que o planejamento urbano utilizando-se de técnicas de baixo impacto é possível, apresentando vantagens urbanísticas, ambientais e hidrológicas sob os sistemas de desenvolvimento convencionais, tais como aumento das áreas permeáveis, das áreas de cobertura vegetal, redução da vazão de pico e do volume de escoamento superficial. O desenvolvimento de baixo impacto realiza estas intervenções de forma simultânea para restabelecer as condições pré-existentes, e só então, empregar práticas de gerenciamento integrado.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento de baixo impacto. Drenagem urbana. Paisagens hidrológicamente funcionais.

## ABSTRACT

Urban areas even big cities are becoming impermeabilized reducing the soil's infiltration rate and increasing the velocity and volume of runoff, changing meaningfully the hydrological cycle and causing floods. A set of techniques able to create hydrologically functional landscape can be found at Low Impact Development (LID) that works just similar to the natural, becoming possible the development of projects adapted to the natural topography, maintaining the yield of the lot and the local hydrological function; aiming at esthetics valorization and stormwater control management with low cost. This study makes use of this methodology since the beginning of the planning process, working at the same time with urban, environmental and hydrological aspects, intending to recuperate or even to keep the pre-development behavior of the area. To support the local hydrology, reduce sealing, keeping time to concentrate, to keep Fingerprinting, enhance infiltration, among others. It compares the predevelopment conditions, the conventional urbanization and that with LID techniques related to aspects mentioned to a specific area at UFSCar Campus, São Paulo. This search revealed that it is possible to have an urban planning using LID, with urban, environmental and hydrological advantages in the opposite to the conventional development systems, such as the increase of permeable areas, vegetation areas and the reduction of peak discharge and stormwater runoff. Low impact development makes these interventions in a simultaneous way just to re-establish the pre-existent conditions, and then to make use of integrated management's practice.

**Key-words:** Low impact development. Urban drainage. Hydrologically functional landscape.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Plano Urbanístico para a cidade de Santos. _____	7
FIGURA 02 - Processo de impacto da drenagem urbana. _____	11
FIGURA 03 - Alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização. _____	13
FIGURA 04 - Alterações hidrológicas pelo desenvolvimento local. _____	14
FIGURA 05 - Características das alterações de uma área rural para urbana. _____	15
FIGURA 06 - Inundação na Av. Alberto Andaló, em S. J.Rio Preto/SP – Córrego Canela canalizado. ____	16
FIGURA 07 - Inundação em São José do Rio Preto/SP. _____	16
FIGURA 08 - Inundação na Av. Bady Bassitt, em S. J.Rio Preto/SP – Córrego Borá canalizado. _____	16
FIGURA 09 - Avenida Nove de Julho, em São Paulo. _____	16
FIGURA 10 - Cruzamento das avenidas Rebouças e Brigadeiro Faria Lima, em São Paulo. _____	16
FIGURA 11 - Cruzamento das avenidas Rebouças e Brigadeiro Faria Lima, em São Paulo. _____	16
FIGURA 12 – Exemplos de malhas urbanas fechadas. _____	18
FIGURA 13 – Exemplos de malhas urbanas abertas e semi-abertas. _____	19
FIGURA 14 - Extensão de pavimentos conforme opções de desenho de vias. _____	20
FIGURA 15 – Exemplo de implantação de vias em loteamento. _____	21
FIGURA 16 – Padrões de cul-de-sac (normal e com bioretenção). _____	22
FIGURA 17 - Poço de infiltração. _____	33
FIGURA 18 - Valas de Infiltração. _____	34
FIGURA 19 - Valas de Infiltração. _____	34
FIGURA 20 - Hidrogramas típicos de pequenas áreas urbanas. _____	35
FIGURA 21 - Barril de chuva. _____	36
FIGURA 22 – Esquema de combinação de técnicas para gestão das águas pluviais em uma parcela ____	37
FIGURA 23 - Telhado verde – Universidade Villanova. _____	37
FIGURA 24 - Telhado verde. _____	37
FIGURA 25 - Telhados verdes. _____	38
FIGURA 26 - Telhado verde. _____	38
FIGURA 27 – Telhado verde em camadas. _____	38
FIGURA 28 – Seção de uma área de bioretenção. _____	39
FIGURA 29 – Exemplo de Bioretenção. _____	40
FIGURA 30 - Trincheira de Infiltração. _____	41
FIGURA 31 - Trincheira de Infiltração. _____	41
FIGURA 32 - Utilização de blocos de concreto vazado em piso de estacionamento. _____	43
FIGURA 33 - Piso de estacionamento em blocos de concreto vazado. _____	43
FIGURA 34 - Utilização de blocos de concreto vazado em residência. _____	43
FIGURA 35 - Bacia de detenção no município de São José do Rio Preto. _____	46
FIGURA 36 - Bacia de detenção no município de São José do Rio Preto. _____	46
FIGURA 37 – Exemplos de redução de áreas impermeáveis em vias. _____	49
FIGURA 38 - Layout típico de rua urbana (Seattle, EUA). _____	50

FIGURA 39 - Comparação entre urbanização com desenho convencional e urbanização de baixo impacto. _____	60
FIGURA 40 - Comparação entre um parcelamento com desenho convencional e um com plano inovador desenvolvido utilizando melhores práticas para desenho do local. _____	61
FIGURA 41 – Representação esquemática do método de pesquisa. _____	63
FIGURA 42 – Hidrograma triangular do Método Racional. _____	72
FIGURA 43 – Superposição da curva PD para o período de retorno escolhido e a curva de evacuação. _	75
FIGURA 44 - Localização da área de estudo em relação à malha urbana do município de São Carlos. ___	93
FIGURA 45 - Localização da área de estudo em relação ao Campus da UFSCar. _____	94
FIGURA 46 – Perspectiva da ocupação convencional da área de estudo (software AutoCAD 2008). ___	101
FIGURA 47 – Ocupação convencional da área de estudo. _____	102
FIGURA 48 – Vias típicas da área de estudo. _____	103
FIGURA 49 – Vias típicas da área de estudo. _____	103
FIGURA 50 - Passeio típico existente, em concreto. _____	103
FIGURA 51 - Passeio típico existente, em concreto. _____	103
FIGURA 52 - Edificação existente no Campus. _____	104
FIGURA 53 - Edificação existente no Campus. _____	104
FIGURA 54 - Estacionamento padrão implantado na área (estacionamento A). _____	104
FIGURA 55 – Via e estacionamento padrão implantado na área (estacionamento A). _____	104
FIGURA 56 – Parâmetros urbanísticos da condição de urbanização convencional. _____	106
FIGURA 57 - Sistema de microdrenagem implantado – carreamento de sedimentos pelas sarjetas. ___	107
FIGURA 58 - Carreamento de sedimentos pelas sarjetas. _____	107
FIGURA 59 – Topografia da área. _____	111
FIGURA 60 – Perfil longitudinal da área de projeto. _____	112
FIGURA 61 – Implantação das edificações. _____	113
FIGURA 62 – Implantação com localização de maciços de vegetação. _____	115
FIGURA 63 – Estratégias de redução de áreas impermeáveis, em relação à urbanização convencional. 117	
FIGURA 64 – Passeio proposto para redução de áreas impermeáveis. _____	118
FIGURA 65 – Desconexão das áreas impermeáveis. _____	119
FIGURA 66 – Perfil esquemático de desconexão de telhado. _____	120
FIGURA 67 – Desconexão das áreas impermeáveis do estacionamento A. _____	120
FIGURA 68 – Desconexão das áreas impermeáveis do estacionamento B. _____	121
FIGURA 69 – Implantação com localização de canais naturais de drenagem. _____	122
FIGURA 70 – Comportamento hidrológico de pré-ocupação, urbanização convencional e pós-ocupação com estratégias de LID, sem IMP. _____	123
FIGURA 71 – Representação esquemática das valas. _____	126
FIGURA 72 – Implantação da Vala/Trincheira junto à edificação “I”. _____	129
FIGURA 73 – Estacionamento A em pavimento permeável. _____	130
FIGURA 74 – Estacionamento B em pavimento permeável. _____	130
FIGURA 75 – Estrutura do pavimento permeável dos estacionamentos. _____	131
FIGURA 76 – Perspectiva de urbanização de baixo impacto (em software AutoCAD 2008). _____	132
FIGURA 77 – Proposta de Urbanização de baixo impacto. _____	133

FIGURA 78 – Parâmetros urbanísticos das condições de desenvolvimento convencional e de LID. ____	135
FIGURA 79 – Parâmetros ambientais das condições de desenvolvimento. _____	136
FIGURA 80 – Comportamento hidrológico de pré-ocupação, urbanização convencional e pós-ocupação com estratégias de LID, com uso de IMP. _____	137

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Dispositivos de Infiltração. _____	29
TABELA 02 - Experimentos em superfícies urbanas. _____	43
TABELA 03 - Coeficientes de escoamento associados a diversos tipos de pavimentos. _____	44
TABELA 04 – Parâmetros para comparação dos aspectos em diferentes situações de desenvolvimento. _____	65
TABELA 05 – Possibilidades de infiltração. _____	70
TABELA 06 – Escoamento em superfícies e calhas rasas. _____	72
TABELA 07 - Valores de Coeficientes de escoamento superficial. _____	73
TABELA 08 - Técnicas de planejamento de LID para redução do CN. _____	83
TABELA 09 - Técnicas de planejamento para manutenção do Tc. _____	84
TABELA 10 - Oportunidades e restrições para aplicação de IMP. _____	86
TABELA 11 – Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas. _____	87
TABELA 12 – Quantificação de parâmetros para a situação de pré-ocupação. _____	99
TABELA 13 – Quantificação de parâmetros para a situação de urbanização convencional. _____	105
TABELA 14 – Coeficientes de escoamento superficial para diferentes superfícies da condição de urbanização convencional. _____	106
TABELA 15 – Dimensionamento de IMP necessárias. _____	125
TABELA 16 - Relação das espécies para uso em áreas periodicamente alagadas. _____	128
TABELA 17 – Análise das situações de desenvolvimento por parâmetros. _____	134
TABELA 18 – Custo unitário dos pavimentos permeáveis e o acréscimo devido ao aumento na espessura do reservatório de britas. _____	139
TABELA 19 – Custos de implantação de valas revestidas com espécies vegetais. _____	139
TABELA 20 – Custos de implantação de pavimentos permeáveis com revestimento em blocos vazados e estrutura de armazenamento. _____	140
TABELA 21 – Custos de implantação da vala/trincheira. _____	141
TABELA 22 – Custo total para implantação das estruturas propostas na urbanização de baixo impacto. _____	141

## **SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

A - área

AI – Áreas Impermeabilizadas

AIDC – Área Impermeável Diretamente Conectada

AINC – Área Impermeável Não Conectada

AP – Áreas Permeáveis

BMP – Best Management Practice (Melhores Práticas de Gestão)

C – Coeficiente de escoamento superficial

CBH-TG – Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Turvo/Grande

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CN – Parâmetro Curva-Número do Soil Conservation Service (SCS).

CPOS - Companhia Paulista de Obras e Serviços

d – duração da chuva

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

EPA - Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental)

EUA – Estados Unidos da América

I - Intensidade

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMP – Integrated Management Practices (Práticas de Gestão Integrada)

LID – Low Impact Development (Desenvolvimento de Baixo Impacto)

MCidades – Ministério das Cidades

PDDrU - Plano Diretor de Drenagem Urbana

Q – vazão de pico

SP – Estado de São Paulo

SUDS - Sustainable Urban Drainage Systems (Sistemas de drenagem urbana sustentável)

Tc – Tempo de concentração

TO – Taxa de Ocupação

TR – Período de retorno

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

UGRHI 13 – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê/Jacaré

USEPA – United States Environmental Protection Agency (Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos).

Vesd – Volume de escoamento superficial direto

VUSP - Villanova Urban Stormwater Partinersi

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>PARTE I</b>	
<b>DESENVOLVIMENTO URBANO E A DRENAGEM URBANA.....</b>	<b>3</b>
1. Da ocupação às soluções sustentáveis .....	4
2. Impactos decorrentes da urbanização .....	10
3. Desenho Urbano e os efeitos sobre o Ciclo Hidrológico .....	18
4. A Gestão da Drenagem Urbana.....	23
5. Medidas de controle de escoamento superficial.....	27
6. Práticas Sustentáveis de drenagem.....	30
6.2. Técnicas lineares.....	39
6.3. Técnicas para controle centralizado .....	45
7. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID).....	48
8. Aspectos Legais referente à Drenagem Urbana .....	53
9. Comparação dos efeitos dos processos de Urbanização Convencional e de Baixo Impacto .....	56
<b>PARTE II</b>	
<b>MÉTODO DE ANÁLISE URBANÍSTICA, AMBIENTAL E HIDROLÓGICA DE PRÉ E PÓS OCUPAÇÃO.....</b>	<b>62</b>
10. Definição e caracterização da Bacia .....	63
11. Definição de Parâmetros urbanísticos, ambientais e hidrológicos.....	64
11.1. Quantificação de parâmetros urbanísticos.....	66
11.2. Quantificação de parâmetros ambientais.....	68
11.3. Quantificação de parâmetros hidrológicos .....	71
12. Definição das situações de desenvolvimento.....	76
12.1. Pré-ocupação .....	76
12.2. Urbanização convencional.....	76
12.3. Urbanização de baixo impacto (LID).....	77
13. Análise das Situações de desenvolvimento .....	89
13.1. Avaliação Urbanística, Ambiental e Hidrológica.....	89

**PARTE III****DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO APLICADO AO PROCESSO DE**

<b>PLANEJAMENTO .....</b>	<b>91</b>
14. Aplicação de práticas sustentáveis de LID dentro do Campus da UFSCAR.....	92

**PARTE IV****ANÁLISE DAS SITUAÇÕES DE DESENVOLVIMENTO E ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DE IMPACTOS..... 97**

15. Situação Pré-ocupação.....	98
16. Situação Urbanização convencional .....	100
17. Proposta de Urbanização de Baixo Impacto .....	108
17.1. Análise dos aspectos legais e normativos .....	108
17.2. Análise das condições de desenvolvimento e áreas protegidas.....	110
17.3. Movimentação de terra .....	112
17.4. Criação das digitais locais .....	114
17.5. Utilização da drenagem/hidrologia como elemento de projeto .....	115
17.6. Estratégias para redução de Áreas impermeáveis.....	117
17.7. Planejamento integrado preliminar .....	118
17.8. Estratégias para minimizar áreas impermeáveis diretamente conectadas .....	118
17.9. Estratégias para aumentar os caminhos de fluxos.....	121
17.10. Comparação da hidrologia de pré e pós-desenvolvimento com LID .....	123
17.11. Controles adicionais para completar planejamento local de LID .....	123
18. Estimativa de custos para implantação das estruturas.....	138

<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>143</b>
-------------------------	------------

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>146</b>
---	------------

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, verificou-se no Brasil, um acelerado processo de urbanização e crescimento das cidades. O Brasil chegou ao final do século XX como um país urbano e em 2000 a população urbana ultrapassou 2/3 da população total, atingindo a marca dos 138 milhões de pessoas.

Nesse contexto, a ocupação urbana aconteceu e continua ocorrendo de forma desordenada, e as inundações em áreas urbanas constituem-se em um dos mais significativos impactos negativos sobre os recursos naturais e sobre a sociedade.

Devido a elevada concentração de população no meio urbano, o Brasil perde anualmente somas exorbitantes com as enchentes urbanas. Em 2007 foram desembolsados R\$ 241.286.008,01 dos recursos federais com as questões relativas à drenagem urbana (MCidades, 2008).

A principal questão que se coloca hoje no planejamento das cidades é como interromper este processo de contínua degradação. Torna-se cada vez mais necessário a implementação de medidas visando a conservação e a recuperação sócio-ambiental.

Esta pesquisa surgiu a partir da contínua observação das cidades planejadas por meio de processos convencionais, onde é comum encontrarmos em áreas urbanas, corpos d'água canalizados e com avenidas marginais, além da ausência de arborização e desprezo às condições naturais na concepção do traçado urbano; onde os cursos d'água são incorporados à paisagem como elementos distantes do contato humano.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar métodos e técnicas de desenvolvimento de baixo impacto a uma área do campus da UFSCar, em São Carlos/SP, possibilitando uma drenagem urbana sustentável. Em termos específicos, foram comparados teoricamente, os processos de urbanização convencional e urbanização de baixo impacto. Também foi possível comparar as condições de pré-ocupação, urbanização convencional, e urbanização de baixo impacto (LID),

considerando aspectos hidrológicos, urbanísticos e ambientais; e analisar as legislações específicas referentes ao assunto e a política urbana.

O trabalho desenvolveu-se mediante aprofundamento sobre referenciais conceituais e teóricos dados pela revisão bibliográfica, envolvendo: evolução histórica do desenvolvimento urbano e do escoamento das águas pluviais; os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, a gestão da drenagem urbana; as medidas de controle de escoamento das águas superficiais; Técnicas de desenvolvimento de baixo Impacto (LID), exemplificando os dispositivos de redução do escoamento, as principais experiências de controle, as práticas sustentáveis de drenagem, e os aspectos legais, descritos na Parte I.

No capítulo 9, realizou-se uma comparação teórica entre o desenvolvimento urbano convencional e o desenvolvimento urbano utilizando-se de técnicas de baixo impacto (LID), confrontando as suas vantagens e desvantagens, considerando aspectos hidrológicos, urbanísticos e ambientais, capazes de subsidiar um processo mais racional de combate às inundações. Fica então evidente, que o desenvolvimento urbano de baixo impacto (Low Impact Development - LID) diferencia-se dos processos convencionais de planejamento pela necessidade de se tratar da questão das águas pluviais e de seu manejo ao mesmo tempo em que se elabora o projeto urbano.

Na Parte II encontra-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho. A aplicação de práticas sustentáveis de LID a uma área do Campus da UFSCar está descrita no capítulo 14 da Parte III.

Na parte IV são apresentadas as três situações consideradas para a área de estudo; a situação pré-ocupação, a situação de urbanização convencional e a situação de urbanização de baixo impacto. Com a quantificação dos parâmetros para as diferentes condições de desenvolvimento, foi possível realizar avaliações urbanísticas, ambientais e hidrológicas, comprovando que o desenvolvimento de baixo impacto se aproxima das condições de pré-ocupação.

Este trabalho insere-se em um projeto maior de pesquisa, intitulado “Sistemas Hídricos Urbanos”, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

Espera-se que o presente trabalho contribua como subsídios para o aprimoramento de instrumentos de planejamento sustentável para novos empreendimentos.

**PARTE I**  
**DESENVOLVIMENTO URBANO E A DRENAGEM URBANA**

## 1. Da ocupação às soluções sustentáveis

“A cidade não pode ser vista meramente como um mecanismo físico e uma construção artificial. Esta é envolvida nos processos vitais das pessoas que a compõe; é um produto da natureza e particularmente da natureza humana”.  
*Robert Ezra Park*

O presente capítulo tem a função de demonstrar a evolução do desenvolvimento urbano e dos sistemas de drenagem ao longo da história, tendo em vista que sempre houve uma profunda ligação das cidades com os cursos d'água, sendo este fato determinante no processo de sedentarização das populações.

Para Morris (1998), as mais antigas civilizações tiveram lugar no sul da Mesopotâmia, no Egito, no vale do rio Indo (Paquistão), no rio Amarelo (China), no vale do México, nos pântanos da Guatemala e Honduras e nas encostas do Peru, seguidas das civilizações posteriores constituídas por Creta, Micenas, Hititas, Grécia e Roma.

Desde os primórdios, o homem ocupava áreas junto aos cursos d'água, tendo em vista que a disponibilidade de água sempre favoreceu o seu suprimento para o consumo, higiene, e evacuação de seus dejetos. Além disso, as áreas próximas aos rios geralmente são planas, portanto, tornam-se propícias ao assentamento humano.

Na China e no Egito antigo, já podiam ser encontradas grandes obras de infra-estrutura como as de adução de águas para irrigação de terras cultiváveis. A disponibilidade de água também se fazia importante para o desenvolvimento das atividades artesanais, e por favorecer as comunicações e o comércio, quando havia a possibilidade de navegação dos cursos d'água. Também se tem registros que as cidades eram implantadas junto aos cursos d'água visando a defesa do território.

No entanto, a proximidade das cidades e dos cursos d'água acarretava, freqüentemente, problemas de excedentes de água, ou seja, inundações periódicas que afligiam as populações ribeirinhas, sendo considerado por estas como “um preço a pagar” pela disponibilidade de água.

Com o crescimento das cidades, na Idade Média, o desenvolvimento das práticas sanitárias não acompanhou o aumento da população, culminando em graves problemas no que diz respeito à falta de saneamento e ao surgimento de epidemias.

Benévolo (1983) defende que depois da metade do séc. XVIII, a revolução industrial mudou o curso dos acontecimentos na Inglaterra e, mais tarde, em todo o resto do mundo, destacando as principais conseqüências sobre o ambiente construído que influenciaram a ordem das cidades e do território.

Para o mesmo autor (1994), as carências higiênicas relativamente suportáveis no campo tornaram-se insuportáveis na cidade, pela contigüidade e o número elevadíssimo de novas habitações.

Abiko (1995) destaca que a cidade industrial nesse período é caracterizada pelo congestionamento e pela insalubridade. Sem um sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário e sem coleta de lixo atendendo à população de operários, surgem epidemias difíceis de serem controladas, além de doenças que prejudicam a população como um todo.

No final do século XVIII, diversas ações médicas se desenvolveram em toda Europa, promovendo estudos sobre a influência que o meio exercia sobre as pessoas. A essa corrente de pensamento, chamou-se de higienismo. Essas ações provocariam alterações significativas no cotidiano das pessoas e no urbanismo.

O urbanismo sanitaria surguiu com o intuito de melhorar as condições salubres das cidades, que culminaram na aprovação das leis sanitárias. Estas leis foram utilizadas na segunda metade do século XIX, constituindo-se nos elementos mais importantes na configuração das cidades e do moderno planejamento urbano.

Profundas reformas urbanísticas faziam parte dos objetivos do movimento, dominados pela idéia de livrar a cidade o mais rápido possível das águas nocivas, conduzindo-as organizadamente para um corpo d'água receptor. Alargamento de ruas, desmantelamento de cortiços ou bairros insalubres, implantação de redes subterrâneas de água potável e de esgotos pluviais e domésticos eram a essência do remédio higienista (SOUZA et al., 1993).

As ações sanitárias iniciadas no século XIX foram, portanto, responsáveis por uma série de mudanças nos hábitos e na maneira de morar dos cidadãos, provocando reformas que marcariam a cultura da sociedade e a estrutura das cidades.

Com o movimento higienista na Europa no século XIX, preconizava-se como medida de saúde pública a eliminação sistemática das águas paradas ou empoçadas nas cidades, assim como os dejetos domésticos jogados nas vias públicas.

De acordo com Silveira (1998), em termos hidrológicos são estabelecidas as primeiras relações quantitativas entre precipitação e escoamento para dimensionamento de obras de esgoto.

Seguindo o conceito higienista, as práticas tradicionais de drenagem, largamente utilizadas no Brasil, procuram conduzir as águas pluviais da forma mais rápida possível para fora das áreas urbanas, por meio de galerias, canais, etc. No entanto, para Tucci et al. (1995), essas estruturas se tornam insuficientes à medida que a cidade se desenvolve.

O movimento higienista chegou ao Brasil logo após seu surgimento na Europa como se pode deduzir da implantação das primeiras canalizações de esgoto em 1864 no Rio de Janeiro (SANTOS, 1928). Entretanto o higienismo seria aplicado mais decididamente após a proclamação da república em 1889 (MELO FRANCO, 1968).

Para Andrade (1992), o modelo higienista teve no Brasil um intérprete criativo, que foi o engenheiro urbanista Saturnino de Brito. Os princípios urbanísticos de Saturnino de Brito são embasados em tecnologias de saneamento, intervenções com um padrão estético moderno sob influência de Camillo Sitte, e no planejamento de extensão, visando controlar o processo de crescimento urbano.

Ao defender a organização e previsão de crescimento das cidades, Brito argumentava que a expansão urbana não deve depender do acaso, dos caprichos dos proprietários ou das administrações locais. Suas intervenções urbanísticas entendem a cidade na sua totalidade, conciliando o passado, ao redesenhar a cidade existente, e o futuro, planejando o crescimento urbano.

Em 1904, Saturnino de Brito elaborou planos para o saneamento da Cidade de Santos, que consistia num projeto completo de saneamento e expansão da cidade, que possibilitou a construção dos canais de drenagem a céu aberto, com a definição de avenidas laterais.

O plano da cidade de Santos (Figura 01) contemplava as exigências sanitárias aliadas ao desenho urbano. O traçado estruturador do sistema viário incorpora o desenho das ruas já existentes, respeitando divisas e construções de

valores importantes; cria praças e jardins em cruzamentos ou extremidades de avenidas, além de parques públicos, avenidas-parques, que cortavam a malha urbana diagonalmente, facilitando o deslocamento entre pontos distantes da cidade, equipamentos públicos, bosques e uma nova relação edifício-lote.

O Plano de saneamento consistia em dois sistemas: um de esgoto e outro de galerias pluviais para recolhimento das águas da chuva. Um conjunto de nove canais de drenagem superficial cortava a parte santista da Ilha de São Vicente. Apesar de possuírem comportas, os canais de drenagem eram ligados de modo a receberem as águas do mar, através da força das marés, impedindo que águas paradas favorecessem a reprodução dos mosquitos, transmissores da febre amarela. Saturnino de Brito desenhou os canais aproveitando, tanto quanto possível, a localização dos rios e riachos existentes.

Cabe ressaltar que o plano proposto por Saturnino de Brito não foi completamente implantado.

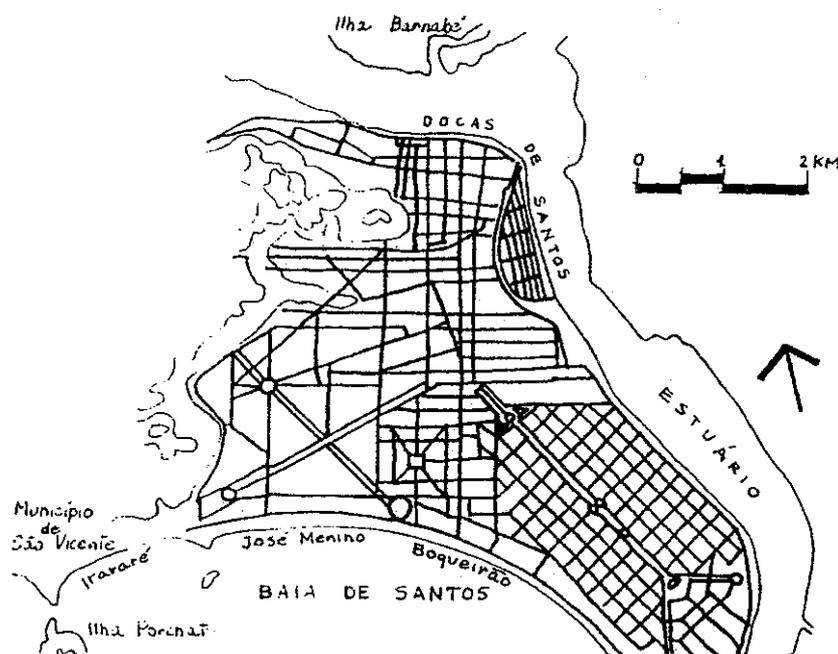


FIGURA 01 – Plano Urbanístico para a cidade de Santos.  
Fonte: Franco, 2008.

Andrade (1992) descreve que as realizações de Saturnino de Brito deram origem a uma nova cidade com um desenho extremamente moderno para a época, aproximando a paisagem urbana santista daquela de cidades europeias.

Para o autor, o plano de Brito para Santos foi muito avançado para o início do século XX, equiparando-se em muitos casos, até mesmo antecipando-se a propostas para as principais cidades européias. Sem dúvida, foi um marco ao urbanismo moderno no Brasil e conferiu a Santos uma modernidade em sua paisagem urbana que nem mesmo a capital do Estado possuía.

Cabe aqui ressaltar também, propostas urbanísticas que almejavam um equilíbrio entre o crescimento econômico e os problemas sociais integrados ao desenho da paisagem, como os ideais de Ebenezer Howard para o movimento das Cidades-Jardins na Inglaterra.

O conceito da cidade-jardim forma-se no ambiente britânico, no século XIX, na procura de soluções para o crescimento das grandes cidades; constituía um diferente modelo de organização social, econômica e territorial. A sua concretização implicaria um novo ambiente residencial de baixa densidade com predominância de espaços verdes. A cidade-jardim teria um ambiente dominado por superfícies arborizadas, plantadas e ajardinadas que permitiriam o máximo acesso visual e físico a todos os espaços (LAMAS, 1992).

A visão de Howard foi uma tentativa de resolver os problemas de insalubridade, pobreza e poluição nas cidades, através de desenho de novas cidades que tivessem uma estreita relação com o campo. Howard apostava no casamento cidade-campo como forma de garantir uma combinação perfeita com todas as vantagens de uma vida urbana cheia de oportunidades e entretenimento juntamente com a beleza e os prazeres do campo.

Assim, alguns princípios de sustentabilidade podem ser identificados no modelo de Cidade-Jardim, tais como: presença de áreas verdes públicas, acessibilidade de pedestres à essas áreas verdes, transporte público adequado, uso misto (zoneamento), reaproveitamento de resíduos sólidos em terras agrícolas e centros comerciais com economia local.

Na segunda metade do século XX, iniciou-se um processo intenso de urbanização, com o crescimento desordenado e acelerado das cidades. As áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis, foram ocupadas, trazendo como conseqüências, prejuízos resultantes das inundações. Nesse mesmo período surgiram os primeiros modelos hidrológicos de transformação chuva-vazão, tais como o método racional, que visam solucionar os problemas de drenagem sem modificar o uso do solo, ou seja, canalizando.

O conceito ambientalista surge a partir da maior conscientização ecológica e de uma explosão tecnológica, tendo se iniciado por volta dos anos 70. Nessa nova visão, procurou-se estabelecer alternativas ao conceito de evacuação rápida, reconheceu-se a poluição do esgoto pluvial e desenvolveu-se uma crescente pressão para que todos os esgotos fossem tratados (SILVEIRA, 1998).

Segundo o autor, a etapa de racionalização e normatização não se desenvolveu, portanto, de forma ideal no Brasil, caracterizada pela freqüente importação direta de métodos sem estudos de validação local, o que, sem dúvida prejudicou o estabelecimento de normas nacionais, assim como ao próprio planejamento que poderia ter alertado para o impacto de certas práticas num país de intensa urbanização.

Isto impediu o desenvolvimento de uma cultura própria em drenagem urbana adaptada aos graves problemas ligados a uma urbanização em grande escala (legal e clandestina) que foi associada ao conceito de evacuação rápida.

Os novos modelos do planejamento urbano ganham corpo a partir da década de 90, quando se discute a necessidade de uma gestão urbana democrática que articule os diferentes atores que produzem e vivem no espaço urbano, buscando atingir a função social da cidade.

A maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, experimentou nas últimas décadas uma expansão urbana com precária infraestrutura de drenagem, advindo os problemas de inundação principalmente da rápida expansão da população urbana, do baixo nível de conscientização do problema, da inexistência de planos de longo prazo, da utilização precária de medidas não estruturais e da manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias (CANHOLI, 2005).

A partir de 1970, na Europa e na América do Norte, desenvolveram-se as “tecnologias alternativas” (ou compensatórias) de drenagem, como forma de amenizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental. Nos Estados Unidos, este tipo de técnica de desenvolvimento recebeu o nome de LID (Low Impact Development).

No Brasil, desde o final da década de 80, algumas cidades procuraram controlar os impactos através de projetos de bacias urbanas com a construção de detenções, os chamados “piscinões”, conforme denominação usada em São Paulo.

## 2. Impactos decorrentes da urbanização

Com o desenvolvimento urbano, ocorre um aumento da impermeabilização do solo através de ruas, calçadas, estacionamentos e telhados das edificações; como consequência, a parcela da água que infiltrava no solo, passa a escoar pelas superfícies, aumentando assim, o escoamento superficial.

Para Genz *et al.* (1995), os principais impactos que decorrem do desenvolvimento de uma área urbana sobre os processos hidrológicos, estão ligados à forma de ocupação da terra, e também ao aumento das superfícies impermeáveis em grande parte das bacias que se localizam próximas às zonas de expansão urbana ou inseridas no perímetro urbano.

O Ministério das Cidades (BRASIL, 2005) aponta os principais problemas relacionados com a ocupação do espaço:

- a) a expansão irregular ocorre sobre as áreas de mananciais de abastecimento humano, comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades;
- b) a população de baixa renda tende a ocupar áreas de risco de encostas e áreas de inundações ribeirinhas devido à falta de planejamento e fiscalização;
- c) aumento da densidade habitacional, com consequente aumento de demanda de água e do aumento da carga de poluentes sem tratamento lançados nos rios próximos às cidades;
- d) acelerada impermeabilização, rios urbanos canalizados ou desaparecem debaixo das avenidas de fundo de vale e outras, produzindo inundações em diferentes locais da drenagem.

Canholi (2005) afirma que a urbanização caótica e o uso inadequado do solo provocam a redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios; e estes, por sua vez demandarão outros locais para ocupar.

Para Tucci *et.al.* (2006), à medida que a cidade se urbaniza ocorrem, em geral, os seguintes impactos:

- a) Aumento das vazões médias de cheia (em até 7 vezes) devido ao aumento da capacidade de escoamento por meio de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;

- b) Aumento da erosão do solo e produção de sedimentos devido à falta de proteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo);
- c) Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, ao transporte de material sólido, às ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial e à contaminação direta de aquíferos;
- d) Pela forma desorganizada como a infra-estrutura urbana é implantada como: (a) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (b) redução de seção de escoamento de aterros; (c) deposição e obstrução de rios, canais e condutos de lixos e sedimentos; (d) projetos e execução inadequados de obras de drenagem.

Na Figura 02 são apresentados os impactos gerados pela ocupação desordenada no ambiente urbano, segundo Tucci (2005). Nota-se que os efeitos principais da urbanização desordenada são: redução da infiltração das águas pluviais, aumento e aceleração do escoamento superficial e aumento das vazões máximas.



FIGURA 02 - Processo de impacto da drenagem urbana.  
Fonte: TUCCI, 2005.

Genz *et al.* (1995) ressaltam que a urbanização promove alterações: (a) no balanço hídrico da bacia hidrológica, pois altera, principalmente, as condições de infiltração e escoamento superficial; (b) na geração de sedimentos, pois com a retirada da cobertura vegetal e com alterações na morfologia do terreno, criam-se condições para, dependendo do tipo de solo, o surgimento de processos erosivos; e (c) a qualidade da água é afetada pela poluição difusa existente nas bacias urbanas, através principalmente, do primeiro fluxo de escoamento superficial direto. Este fluxo atinge os corpos d'água receptores pois apresentam uma carga poluidora comparável com a carga poluente do esgoto sanitário.

Portanto, os impactos da urbanização podem desenvolver-se sobre a quantidade de água (enchentes e inundações), sobre a quantidade de sedimentos e sobre a qualidade da água.

O escoamento superficial ou deflúvio, segundo Jorge *et al.* (2001), corresponde à parcela da água precipitada que permanece na superfície do terreno, sujeita à ação da gravidade que a conduz para cotas mais baixas. Conhecer sua ocorrência e seu comportamento é de relevada importância para o seu gerenciamento e para controle das enchentes urbanas.

A cobertura vegetal tem como efeito a interceptação de parte da precipitação, que pode gerar escoamento e proteção do solo contra a erosão (BRASIL, 2006).

A parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação; quanto maior for a superfície de folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação. Esse volume retido é evaporado assim que houver capacidade potencial de evaporação. Quando esse volume, retido pelas plantas, é totalmente evaporado, as plantas passam a perder umidade para o ambiente por meio da transpiração. A planta retira essa umidade do solo através das suas raízes. O balanço hídrico na bacia urbana altera-se, com o aumento do volume do escoamento superficial e a redução da recarga natural dos aquíferos e da evapotranspiração (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Na Figura 03 está ilustrado o balanço hídrico de uma área urbana, considerando-se a entrada da água de precipitação. O excesso de precipitação que não é captada por interceptação, infiltração, armazenamento, se torna escoamento superficial. Dependendo do nível de desenvolvimento do local, e as técnicas utilizadas, a alteração das condições naturais podem resultar

em um aumento significativo do escoamento superficial de mais de 50% do total precipitado.

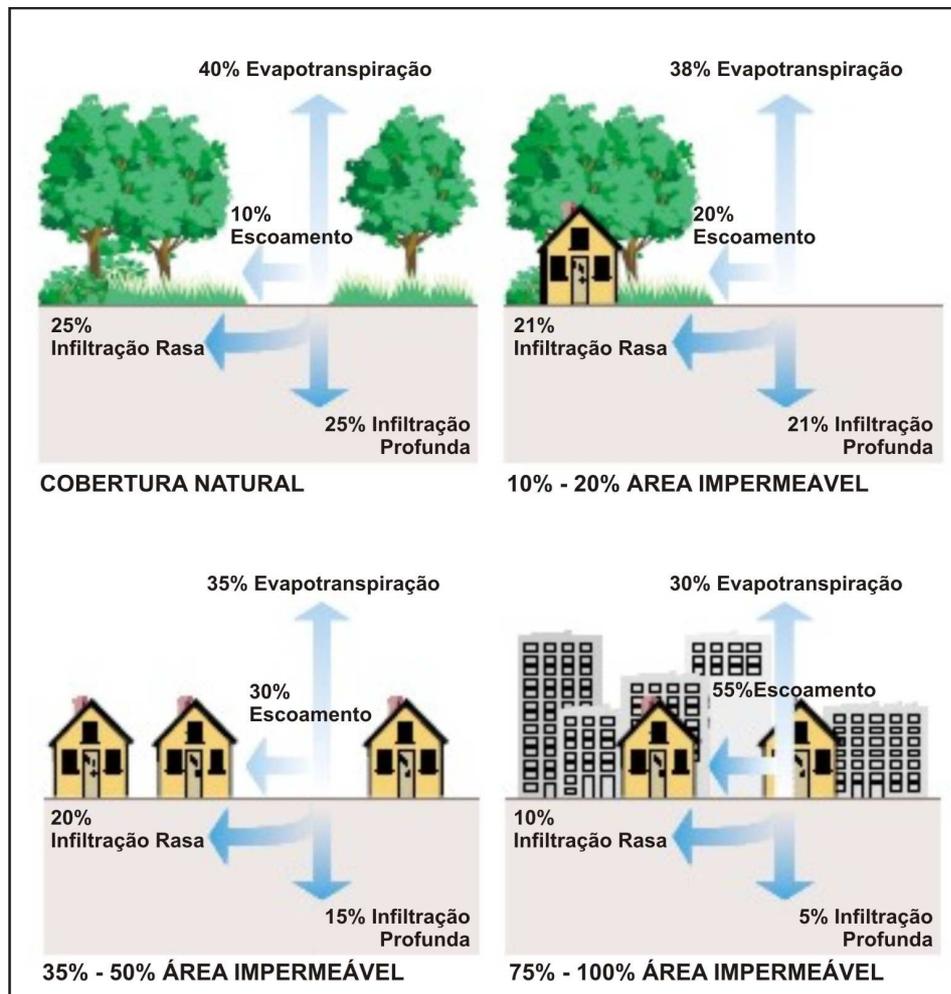


FIGURA 03 - Alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização.  
Fonte: Adaptado de Prince George's County (1999).

Para Tucci *et al* (2006), os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo: vertical e longitudinal. O vertical é representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo; enquanto que o longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do sub-solo (escoamento subterrâneo). O balanço de volumes na bacia depende inicialmente dos processos verticais.

Tucci (2003) relaciona os principais impactos do desenvolvimento sobre o ciclo hidrológico:

a) possível aumento de precipitação, devido ao maior aquecimento nos grandes centros urbanos, provavelmente pela coloração que o asfalto possui em detrimento à natural;

- b) menores taxas de evaporação, pela diminuição da capacidade de infiltração e pela diminuição da evapotranspiração efetuada pela vegetação natural;
- c) maiores volumes, adiantamento de picos de vazão e mudanças na frequência e duração do escoamento superficial;
- d) menores taxas de infiltração com efeitos na recarga dos aquíferos;
- e) menores taxas de escoamento sub-superficial e subterrâneo;
- f) maior erosão e transporte de sedimentos de rios, pelo aumento de velocidade das águas, contribuindo para uma maior degradação da qualidade.

A Figura 04 representa os hidrogramas de pré e pós-desenvolvimento. O hidrograma das áreas desenvolvidas sem controle (pós-desenvolvimento) apresenta menores tempos de concentração e, conseqüentemente, menores tempos de pico, aumento significativo da vazão de pico e do volume.

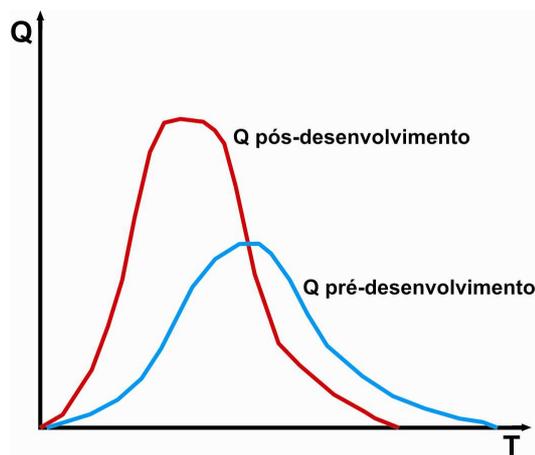


FIGURA 04 - Alterações hidrológicas pelo desenvolvimento local.  
Fonte: Adaptado de Prince George's County, 1999.

Em análise às Figuras 03 e 04, nota-se que, o escoamento superficial é uma das parcelas do ciclo hidrológico na bacia urbana que tem maior significado no dimensionamento e controle da drenagem pluvial, pois está condicionado ao tipo de cobertura do solo e à sua taxa de infiltração.

Para Barros (2005), as inundações urbanas são provocadas fundamentalmente pelo excesso de escoamento superficial, chamado de chuva excedente ou de chuva efetiva, gerado pelo aumento dos índices de impermeabilização do solo e, por conseguinte da diminuição dos processos de infiltração e de retenção de água. Quando o volume de escoamento superficial

gerado ultrapassa a capacidade de escoamento dos cursos d'água que drenam as cidades, ocorrem as inundações.

Tucci *et al.* (2006) argumentam que o escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas resultantes de dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados: *Inundações de áreas ribeirinhas*: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios, derivadas das variabilidades temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica; *Inundações resultantes da urbanização*: são inundações que ocorrem na drenagem urbana por conta do efeito da impermeabilização do solo, da canalização do escoamento ou da obstrução ao escoamento (Figura 05).

Os impactos sobre a população são causados pela ocupação inadequada do espaço urbano; quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco, os impactos são freqüentes: prejuízos de perdas materiais e humanos; interrupção da atividade econômica das áreas inundadas; contaminação por doenças de veiculação hídrica; contaminação da água pela inundação de depósitos de materiais tóxicos.

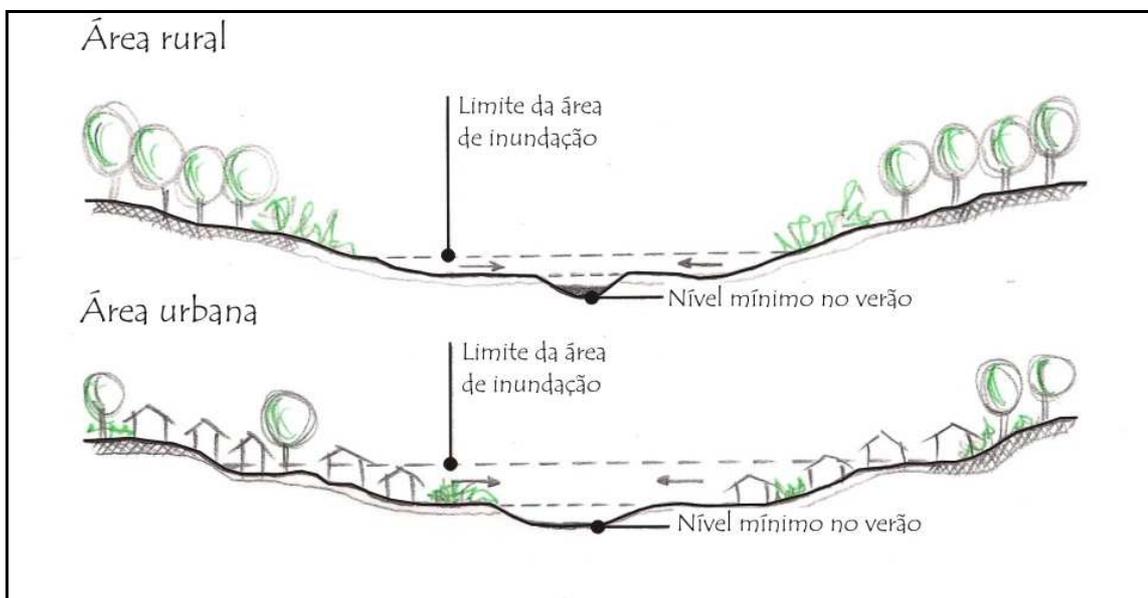


FIGURA 05 - Características das alterações de uma área rural para urbana.  
Fonte: Adaptado de TUCCI, 2003.

Como a capacidade do escoamento nas sarjetas é superior à das superfícies naturais, a água chega mais rápido à seção principal do corpo d'água, provocando vazões maiores que as naturais, conforme Figuras 06 a 11.



FIGURA 06 - Inundação na Av. Alberto Andaló, em S. J.Rio Preto/SP – Córrego Canela canalizado.  
Fonte: Diário da Região, 2008.



FIGURA 07 - Inundação em São José do Rio Preto/SP.  
Fonte: Diário da Região, 2008.



FIGURA 08 - Inundação na Av. Bady Bassitt, em S. J.Rio Preto/SP – Córrego Borá canalizado.  
Fonte: Diário da Região, 2008.



FIGURA 09 - Avenida Nove de Julho, em São Paulo.  
Fonte: O Globo, 2009



FIGURA 10 - Cruzamento das avenidas Rebouças e Brigadeiro Faria Lima, em São Paulo.  
Fonte: disponível em:  
<<http://noticias.uol.com.br/album>>



FIGURA 11 - Cruzamento das avenidas Rebouças e Brigadeiro Faria Lima, em São Paulo.  
Fonte: disponível em:  
<<http://noticias.uol.com.br/album>>

As inundações podem causar impactos à população, doenças, principalmente em localidades onde não existe saneamento básico. Podem ainda, provocar surtos de dengue e morte de pessoas que vivem em áreas de risco.

Tucci (1995) ressalta que as conseqüências dessa falta de planejamento e regulamentação são sentidas em praticamente todas as cidades de médio e grande portes do país. Depois que o espaço está todo ocupado, as soluções disponíveis são extremamente caras.

O Ministério das Cidades, através da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental desenvolveu o Programa de Drenagem Sustentável: apoio ao Desenvolvimento do Manejo das Águas Pluviais urbanas (2005), por meio de ações estruturais e não estruturais dirigidas à prevenção, ao controle e à minimização dos impactos provocados por enchentes urbanas e ribeirinhas.

### 3. Desenho Urbano e os efeitos sobre o Ciclo Hidrológico

As cidades têm o desenho urbano como parte do seu processo de planejamento, assim, todas as decisões terminarão por afetar a qualidade do meio ambiente e a qualidade de vida da população.

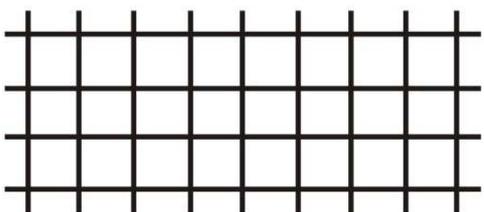
Lynch (1997) ressalta que o traçado urbano é o meio mais poderoso para a ordenação da cidade. Segundo o autor, através das formas das vias pode-se controlar a qualidade urbana e facilitar a legibilidade da cidade.

Mascaró (2005) defende que todo sítio tem na topografia parte de suas características principais, e estas serão fortes condicionantes do traçado urbano. Cada sítio tem seu ecossistema natural, que é alterado e agredido quando sobre ele se faz um assentamento urbano.

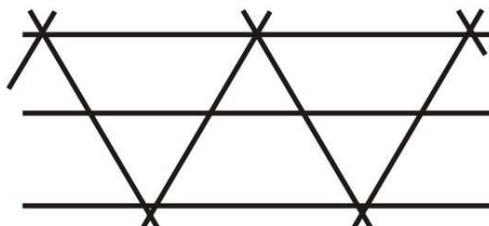
O autor coloca ainda que os assentamentos humanos que mais agradam são aqueles que parecem ter se desenvolvido de forma espontânea, aqueles lugarejos que aparecem como encravados na própria natureza; e é mais econômico de implantar, pois dispensa os grandes movimentos de terra.

Existem inúmeros tipos de traçados urbanos, variando de acordo com a topografia do local e conforme as características dos usuários (MASCARÓ, 2005); podem ser compostos de diversas maneiras, podendo-se denominá-los de malhas fechadas (Figura 12), abertas ou semi-abertas (Figura 13).

A malha urbana fechada ortogonal



C malha urbana triangular



B malha urbana não ortogonal

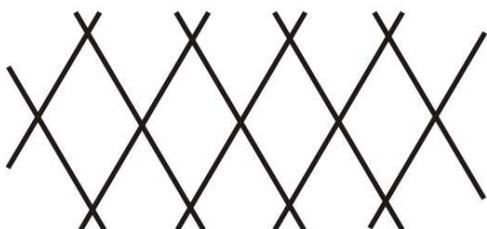


FIGURA 12 – Exemplos de malhas urbanas fechadas.  
Fonte: Adaptado de Mascaró, 2005.

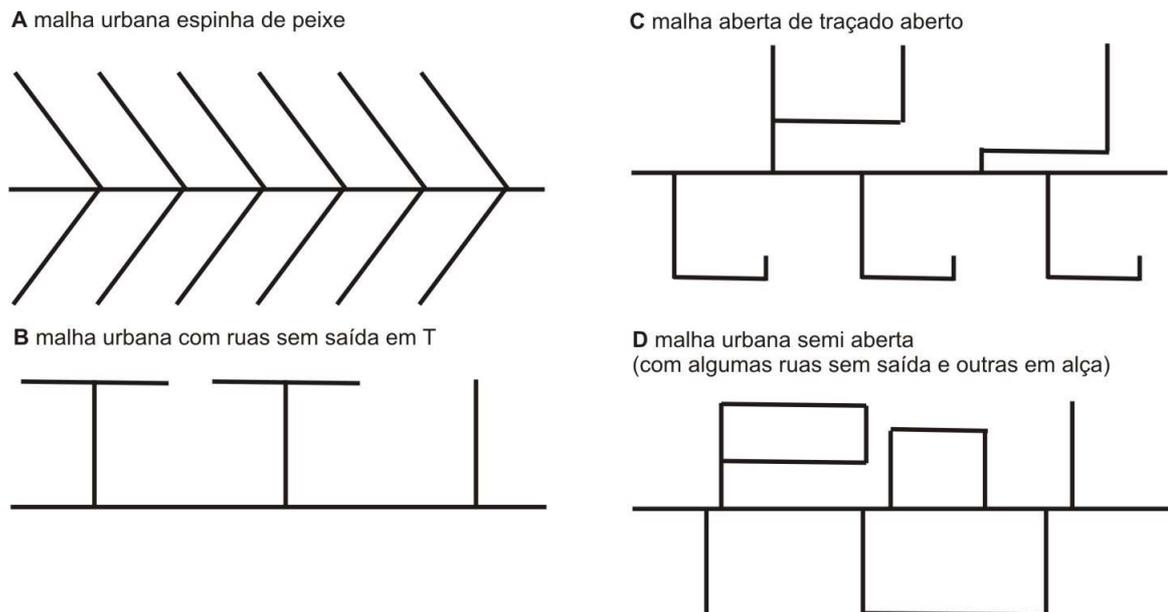


FIGURA 13 – Exemplos de malhas urbanas abertas e semi-abertas.  
Fonte: Adaptado de Mascaró, 2005.

No entanto, para alcançar o projeto adequado do traçado urbano, deve-se buscar o maior conhecimento possível das características da gleba a ser loteada e de seu entorno.

O desenho urbano não pode ser resolvido apenas na planta; deve-se trabalhar em suas três dimensões, considerando que as soluções escolhidas devem ser provenientes das condições topográficas e adaptar-se a elas.

Quando o desenho urbano é implantado sem considerar as características naturais do local, os efeitos são sentidos sobre a sociedade e sobre o meio ambiente, conforme descrito no capítulo 2.2. Observa-se então que, o desenho urbano pode influenciar de forma significativa no ciclo hidrológico, à medida que altera a topografia e a cobertura vegetal e impermeabiliza os solos.

O desenho das vias pode influenciar significativamente sobre o total de áreas impermeáveis e sobre o planejamento hidrológico do local. A Figura 14 demonstra que a extensão (comprimento) das vias e a área pavimentada podem variar para cada opção de desenho de vias. A seleção de uma alternativa de desenho pode resultar em uma redução de 26% do total de áreas impermeáveis (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

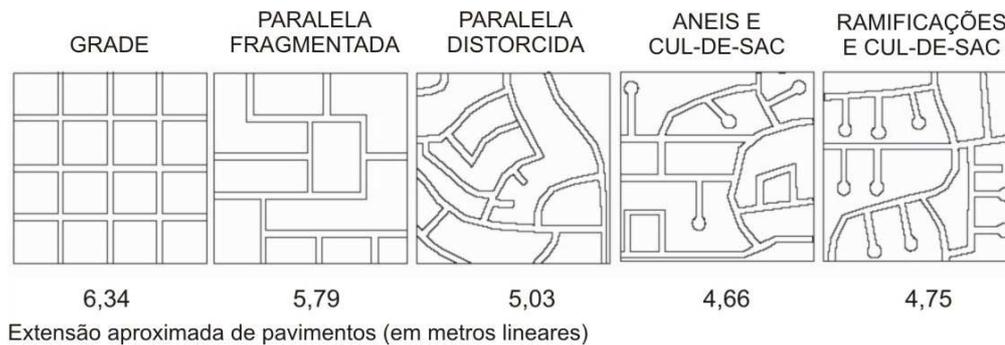


FIGURA 14 - Extensão de pavimentos conforme opções de desenho de vias.

Fonte: Adaptado de Prince George's County, 1999.

Mascaró (2008) orienta para o fato de que o escoamento das águas pluviais fica alterado em função de declividades diferentes; declividade menor que 0,5% a água de chuva não escoar; declividade entre 0,5 a 1,9% só terão escoamento de água de chuva se pavimentadas ou adequadamente drenadas; e declividade maior que 2% escoam bem, podendo o terreno ser gramado.

Embora as vias tenham como função principal atender ao tráfego de veículos e pedestres, é também um importante elemento para a drenagem urbana, pois a água sempre procura o sentido da maior declividade, ou seja, perpendicular à curva de nível.

Caso a via seja perpendicular às curvas de nível (Figura 15 – AA), têm-se uma declividade maior, portanto, o escoamento das águas acontecerá em maior velocidade. O ideal é que o perfil longitudinal de uma via acompanhe a topografia local, paralelo às curvas de nível (Figura 15 - BB), a fim de evitar movimentos de terra, como cortes e aterros.

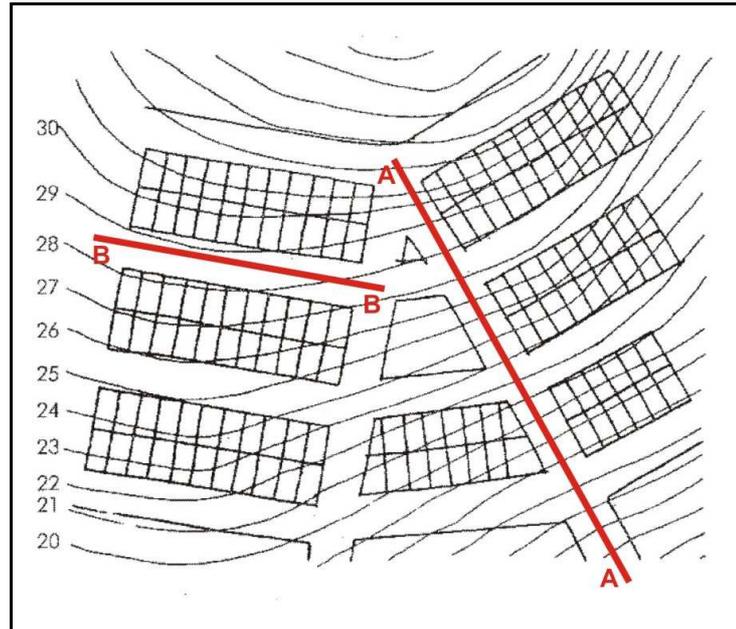


FIGURA 15 – Exemplo de implantação de vias em loteamento.  
Fonte: Mascaró, 2005.

Para Mascaró (2005), é importante usar ruas de penetração relativamente extensas, claramente hierarquizadas, não importando muito, do ponto de vista econômico, se elas serão em *cul-de-sac*<sup>1</sup>, em T (duplo *cul-de-sac*) ou de circulação interior. Nesse caso, as ruas de penetração dentro da quadra devem ter largura igual à metade da largura das ruas que percorrem a periferia da mesma.

*Cul-de-sac* são ruas pavimentadas que terminam em forma de bulbo, com lotes em torno do perímetro da rua (Figura 16 a). A forma em bulbo permite manobras de veículos até certo raio; os raios podem variar de dimensão para permitir que os veículos de emergência trafeguem.

No entanto, o uso de *cul-de-sac* pode gerar o aumento de áreas pavimentadas, que geram grandes volumes de águas escoadas. Para reduzir a extensão da superfície pavimentada e tratar do escoamento superficial, o *cul-de-sac* pode ser concebido com ilhas de vegetação ao centro (Figura 16 b).

Nessas ilhas podem ser implantadas bioretensões que imobilizarão as água de escoamento e filtrarão poluentes, tais como as gorduras, óleos, hidrocarbonetos e nutrientes.

<sup>1</sup> É uma expressão de origem francesa que tem a função de designar "becos-sem-saída" e "ruas sem saída".

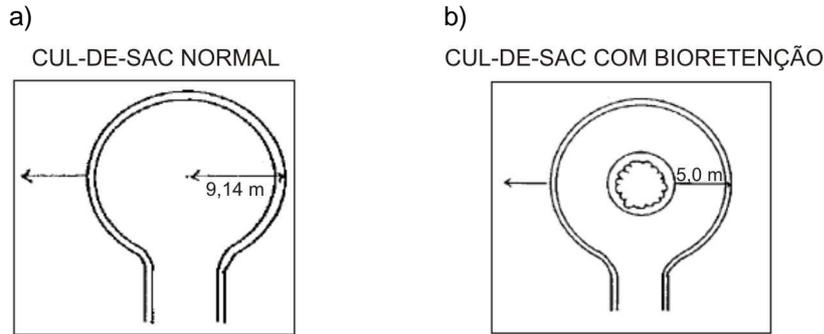


FIGURA 16 – Padrões de cul-de-sac (normal e com bioretenção).  
 Fonte: Adaptado de U.S Department of Housing and Urban Development, 2003.

Outro fator que merece destaque, é quanto a importância das áreas verdes em loteamentos, e proporcionar a gestão dos espaços destinados a vegetação existente na cidade, como praças, parques urbanos, canteiros centrais de avenidas, dentre outros, como forma de criar um contexto urbano que reduza os volumes escoados superficialmente.

A lei Federal 6.766/79, que trata do parcelamento do solo urbano, traz a obrigatoriedade de 35% da área da gleba, ser destinada a áreas públicas, como sistemas de circulação, de equipamento urbano, bem como a espaços livres de uso público. Desses 35% da área total da gleba, um percentual de 20% é destinado a atender o sistema de circulação do loteamento, no caso de urbanização seguindo os padrões convencionais; e somente 10% destinam-se as áreas verdes.

No projeto de parcelamento do solo, devem-se incorporar as visões de produção de um loteamento sustentável e adotar metodologias projetuais que busquem o menor impacto possível ao meio; optando-se pelo estreitamento de vias, utilização de pavimentos permeáveis, maior percentual de áreas verdes e valorização da arborização urbana, a fim de minimizar os efeitos das inundações e atribuir maior valor estético a paisagem.

## 4. A Gestão da Drenagem Urbana

Normalmente, a gestão municipal tem sido realizada com pouco foco no conjunto da cidade, atuando sempre sobre problemas pontuais, e nunca desenvolvendo um planejamento preventivo e integrado.

A maior dificuldade encontrada para a implementação do planejamento integrado decorre da limitada capacidade institucional dos municípios para enfrentar problemas tão complexos e interdisciplinares e a forma setorial como a gestão municipal é organizada.

O planejamento da drenagem deve estar fundamentado em uma abordagem onde aspectos urbanísticos, de infra-estrutura, físicos, químicos, biológicos, ambientais e econômicos, fundamentem o processo de tomada de decisão.

Para o Ministério das Cidades (BRASIL, 2005), a visão moderna envolve o Planejamento integrado da água na cidade, e incorporado ao Plano de Desenvolvimento Urbano, onde os componentes de manancial, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, drenagem urbana, inundação ribeirinha são vistos dentro de um mesmo conjunto e relacionados com a causa principal que é a ocupação do solo urbano.

Algumas cidades brasileiras têm promovido a elaboração de seus Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU), buscando o planejamento de intervenções na drenagem urbana, sob a ótica de bacia hidrográfica. Estes planos, de forma geral, realizam o diagnóstico do sistema de drenagem existente e propõem medidas de controle para os problemas detectados (CRUZ; et al., 2008).

Barth (1997), em estudos relacionados com planos diretores de drenagem urbana entende que, este plano está inserido no processo de planejamento global do município. E para sua implementação é necessária uma compatibilização dos interesses dos atores locais, que interagem no desenvolvimento local e na disputa por recursos. Nestes planos, as medidas estruturais e não estruturais devem estar no processo de mitigação das inundações.

Tucci (2003) defende que o Plano Diretor de Drenagem Urbana, na sua regulamentação, deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas

e a densificação das áreas atualmente loteadas. Depois que a bacia, ou parte dela, estiver ocupada, dificilmente o poder público terá condições de responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia. Para o autor, se a ação pública não for realizada preventivamente, através do gerenciamento, as conseqüências econômicas e sociais futuras serão muito maiores para todo o município.

Assim, o planejamento urbano deve considerar os aspectos relacionados com a água, no uso do solo e na definição das tendências dos vetores de expansão da cidade. Considerando os aspectos relacionados com a água, existe uma forte inter-relação entre os mesmos. Quando desenvolvidos isoladamente, os planos setoriais produzirão resultados inadequados para a sociedade. É importante também a integração entre os serviços públicos, em especial, o setor de limpeza pública, que se torna determinante para o adequado funcionamento da microdrenagem.

A integração entre engenheiros, paisagistas e planejadores urbanos possibilita obter melhores soluções para resolver problemas de drenagem urbana e projetar de maneira econômica, com viabilidade técnica e ambiental.

Inserido no contexto da urbanização, o parcelamento do solo é hoje um dos itens de maior relevância no que se refere ao ordenamento da cidade, principalmente na organização espacial de novas áreas urbanas.

Para Mota (1999), o parcelamento do solo, realizado sob a forma de loteamento ou desmembramento, é um dos instrumentos urbanísticos utilizados para promover a organização territorial dos municípios brasileiros. É através desse instrumento que o município pode exigir uma distribuição adequada dos lotes, equipamentos e vias públicas, bem como suas respectivas dimensões, taxas de ocupação, áreas para recreação e outros usos comunitários e infra-estrutura mínima. Essa organização do uso e ocupação do novo espaço urbano, proveniente do parcelamento do solo é regulamentada por legislação específica.

De acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2005), a tendência é dos municípios introduzirem diretrizes de macrozoneamento urbano nos Planos Diretores urbanos, incentivados pelos Estados. No zoneamento relativo ao uso do solo não são contemplados pelos municípios os aspectos de drenagem e inundações. Além disso, as legislações são restritivas, como a de proteção de mananciais e ocupação de áreas ambientais, sem permitir alternativas ao proprietário da terra, gerando em realidade um confisco. Este tipo de legislação

somente produz reações negativas e desobediência, incentivando o loteamento irregular.

Em atenção ao Programa de Drenagem Sustentável, do Ministério das Cidades (BRASIL, 2005), observou-se que, atualmente no Brasil, não existe nenhum programa de controle de enchentes que envolvam seus diferentes aspectos. O que se observa são ações isoladas por parte de algumas cidades; pode-se citar como exemplo, Belo Horizonte, Guarulhos, São Paulo e Porto Alegre.

O município de São Paulo conta com legislação que estabelece a construção de reservatório para lotes acima de 500 m<sup>2</sup>, mas não estabelece uma vazão limite para entrada na rede pública.

Guarulhos se baseia na construção de reservatório para controle da drenagem urbana para área maiores ou iguais a 1,0 hectare. A regulamentação estabelece critérios de construção de retenção/detenção, mas não estabelece os critérios quanto a manutenção de vazão pré-existente.

O PDDUA de Porto Alegre prevê em sua legislação, alguns instrumentos para a drenagem urbana de acordo com o enquadramento das áreas: (a) Área de ocupação rarefeita (art. 65) onde estão previstas medidas que controlem a contaminação das águas, não altere a absorção do solo e não tenham risco de inundação; (b) Áreas de contenção de crescimento urbano (art. 80) são áreas que podem ser definidas em função da densificação atual e seu futuro agravamento de restrições pelo aumento das inundações ou dos condicionantes de drenagem. (c) Áreas de Revitalização (art. 81): representam áreas de patrimônio ambiental ou relevante para a cidade que necessitam tratamento especial; O art. 97 estabelece uma das principais bases para a regulamentação da drenagem urbana, onde estabelece que nas zonas identificadas como problemáticas, deverão ser construídos reservatórios de retenção pluvial. No seu parágrafo único define que será de atribuição do executivo a definição dos critérios através de decreto. No parcelamento do solo, art. 135, no parágrafo 3º, estabelece os condicionantes do espaço para a drenagem urbana como faixa “não-edificável”, e, no parágrafo 6º, define que os novos empreendimentos devem manter as condições hidrológicas originais da bacia, através de amortecimento da vazão pluvial.

No Plano Diretor Urbano de Belo Horizonte (1996) foram previstas áreas permeáveis de acordo com a zona da cidade (como na maioria das cidades). Foi previsto um artigo que permite ao proprietário substituir a área permeável por um

reservatório na relação de 30 litros para cada 1,0 m<sup>2</sup> de área impermeabilizada. A viabilidade da construção do reservatório depende de um parecer de um engenheiro. Na prática observou-se que o proprietário construía a área impermeável e depois obtinha um parecer do engenheiro inviabilizando o reservatório. Desta forma, nenhum reservatório foi construído. Mesmo que o reservatório fosse construído não resolveria o problema, pois o restante da superfície continuaria impermeável e o aumento da vazão ocorreria.

O Município de Araraquara (SP), por meio de seu Plano Diretor Municipal de Saneamento e Gestão Ambiental, promove a regulamentação da implantação de medidas que visam reduzir o impacto do avanço da urbanização, tais como: incluir a sustentação econômica do manejo sustentável da água pluvial na Taxa Ambiental; implantação de micro-reservatórios de água pluvial para regularização de fluxo e uso não-potável; instituir a obrigatoriedade de instalação de coberturas vegetais em prédios públicos; implantação de dispositivos de infiltração de água pluvial para regularização de fluxo e recarga do aquífero freático; adoção de pavimentos permeáveis, para pátios, estacionamentos, passeios e vias públicas.

Além disso, o Plano estimula medidas preventivas nos novos parcelamentos de solo, por meio de projeto de drenagem constituído por poços de infiltração, bacias de retenção de águas pluviais, dispositivos de dissipação de energia, pavimentos permeáveis e demais componentes do sistema, que devem ser concebidos e implantados de tal modo que a vazão de escoamento seja mantida dentro das condições originais da área antes de ser urbanizada, reduzindo-se o impacto da urbanização nos fundos de vale e nos corpos d'água.

No âmbito internacional, Canholi (2005) ressalta que, nos EUA diversos Estados possuem leis bastante restritas quanto ao controle de enchentes em áreas a serem urbanizadas. O critério básico é que a urbanização proposta não deve permitir a ampliação dos picos naturais ou anteriores, resultando em um impacto zero no sistema de drenagem. A aprovação de novas áreas de desenvolvimento é, portanto, condicionada a esse requisito por força de instrumentos legais.

## 5. Medidas de controle de escoamento superficial

Depois de conhecidos os problemas decorrentes da urbanização, é preciso atentar para as medidas de controle de escoamento superficial, capazes de controlar os efeitos das enchentes e inundações. Tais medidas são classificadas em estruturais e não estruturais.

Para Canholi (2005), as medidas estruturais correspondem às obras que podem ser implantadas visando à correção e/ou prevenção dos problemas decorrentes de enchentes; as medidas não estruturais são aquelas em que se procuram reduzir os danos ou as conseqüências das inundações, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alertas e a conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem.

De acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (BRASIL, 2006), as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes, utilizando-se medidas preventivas, como o alerta de inundação, o zoneamento das áreas de risco, o seguro contra inundações e medidas de proteção individual.

Nas áreas ribeirinhas, o controle de inundações é realizado através de medidas estruturais e não-estruturais, que dificilmente estão dissociadas. As medidas estruturais envolvem grande quantidade de recursos e resolvem somente problemas específicos e localizados. Isso não significa que esse tipo de medida seja totalmente descartável. A política de controle de inundações, certamente, poderá chegar à soluções estruturais para alguns locais, mas dentro da visão de conjunto de toda a bacia, onde estas sejam racionalmente integradas com outras medidas preventivas (não-estruturais) e compatibilizadas com o esperado desenvolvimento urbano (TUCCI, 2003).

O autor cita ainda que, as medidas de controle para as redes de drenagem urbana devem possuir dois objetivos básicos: controle do aumento da vazão máxima e melhoria das condições ambientais.

Genz et al. (1995) classificam as medidas de controle do escoamento de acordo com sua ação na bacia hidrográfica:

- *Distribuída ou na fonte:* é o controle que atua sobre o lote, praças e passeios;
- *Na microdrenagem:* é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um parcelamento ou mesmo mais de um parcelamento, em função da área;
- *Na macrodrenagem:* é o controle sobre áreas acima de 2 km<sup>2</sup> ou dos principais riachos urbanos.

Para Tucci (2003), essas medidas são adotadas de acordo com o estágio de desenvolvimento da área em estudo.

As principais medidas sustentáveis na fonte têm sido: a retenção de lote (pequeno reservatório), que controla apenas a vazão máxima; o uso de áreas de infiltração para receber a água de áreas impermeáveis e recuperar a capacidade de infiltração da bacia; e os pavimentos permeáveis.

Segundo o Ministério das Cidades (BRASIL, 2006), de acordo com a ação sobre o hidrograma em cada uma das partes das bacias, as medidas de controle podem ser organizadas em:

- *Infiltração e percolação:* encaminha o escoamento para áreas de infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial. Esse tipo de solução busca recuperar as funções hidrológicas naturais da área. A infiltração não deve ser utilizada em áreas onde a contaminação da água pluvial é alta ou o lençol freático é muito alto. Dispositivos como pavimentos permeáveis, valos de infiltração, planos de infiltração, entre outros, contribuem para a melhoria ambiental, reduzindo o escoamento superficial das áreas impermeáveis (Tabela 01).

TABELA 01 – Dispositivos de Infiltração.

Dispositivo	Características	Vantagens	Desvantagens
Planos e valos de infiltração com drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural	Permite infiltração de parte da água para o sub-solo	Planos com declividade >0,1% não devem ser usados; o material sólido para a área de infiltração pode reduzir sua capacidade de infiltração
Planos e valos de infiltração sem drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural	Permite infiltração da água para o sub-solo	O acúmulo de água no plano durante o período chuvoso não permite trânsito sobre a área. Planos com declividade que permita escoamento
Pavimentos permeáveis	Concreto, asfalto ou bloco vazado com alta capacidade de infiltração	Permite infiltração da água	Não deve ser utilizado para ruas com tráfego intenso e/ou de carga pesada, pois a sua eficiência pode diminuir
Poços de infiltração, trincheiras de infiltração e bacia de percolação	Volume gerado no interior do solo que permite armazenar a água e infiltrar	Redução do escoamento superficial e amortecimento em função do armazenamento	Pode reduzir a eficiência ao longo do tempo, dependendo da quantidade de material sólido que drena para a área

Fonte: BRASIL, 2006.

- *Armazenamento:* por meio de reservatórios que podem ocupar espaços abertos ou fechados. O efeito do reservatório é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- *Aumento da eficiência do escoamento:* por meio de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;
- *Diques e estações de bombeamento:* solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da inundação.

## 6. Práticas Sustentáveis de drenagem

As práticas sustentáveis de drenagem visam reter o escoamento na fonte, no loteamento ou na macrodrenagem através de infiltração ou armazenamento, com o intuito de evitar a transferência dos impactos para áreas à jusante.

Dentro do conceito ambiental da drenagem, e não mais higienista, cada novo espaço urbanizado deve incluir uma compensação para os efeitos da urbanização. Isso vai significar uma recuperação (ou a manutenção) do ciclo hidrológico urbano, de tal modo que a população perceba a existência desse ciclo e participe de maneira ativa de sua manutenção (SOUZA, 2002).

A CETESB<sup>2</sup> e o DAEE<sup>3</sup>, em seu Manual de Projeto de Drenagem Urbana (DAEE/CETESB,1980), já estabeleciam uma série de medidas que possibilitariam o armazenamento das águas pluviais, sob o ponto de vista de redução e retardamento do deflúvio direto. O uso dessas alternativas resultaria na redução do custo global das obras públicas de drenagem. As medidas sugeridas são: cisterna, jardim suspenso, reservatório com espelho d'água permanente, armazenamento em telhados, pavimento permeável, canais gramados, faixas de terreno com vegetação, armazenamento e detenção em pavimentos impermeáveis, reservatórios de detenção.

As práticas sustentáveis (ou compensatórias) buscam compensar os efeitos da urbanização sobre o hidrograma de cheias gerado por uma bacia (lote ou loteamento). Este modelo incorpora novas técnicas de controle da drenagem na fonte, através de bacias de detenção e retenção, áreas de infiltração, trincheiras, valas, pavimentos permeáveis, poços de infiltração, telhados verdes, e outros dispositivos.

Essas técnicas são classificadas por Baptista *et.al.* (2005) em três tipos distintos, conforme sua posição de implantação, sendo:

- *Técnicas para controle na fonte*, implantadas junto a parcelas ou pequenos conjuntos de parcelas, associadas, portanto, a pequenas superfícies de drenagem (Exemplos: poços de infiltração, valas ou

---

<sup>2</sup> CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

<sup>3</sup> DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

valetas de armazenamento e/ou infiltração, micro-reservatórios individuais, telhados armazenadores, etc.);

- *Técnicas lineares* implantadas usualmente junto ao sistema viário - pátios, estacionamentos e arruamentos (Exemplos: pavimentos porosos, trincheiras de infiltração, etc);
- *Técnicas para controle centralizado* que correspondem, essencialmente, às bacias de detenção e retenção, usualmente associadas a áreas de drenagem de grande porte (Exemplos: bacias de detenção, retenção e infiltração).

O propósito de utilizar práticas sustentáveis confere ao sistema de drenagem, características de sustentabilidade.

Os métodos de drenagem que consideram quantidade e qualidade da água escoada superficialmente são referenciados como SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*), na Europa e LID (*Low Impact Development*) em Vancouver – Seattle e na costa leste dos Estados Unidos, em particular, Maryland, Washington DC e Flórida.

Na seqüência são apresentados alguns dos dispositivos mencionados, destacando-se suas principais características.

### **6.1. Técnicas para controle na fonte**

Para Tucci (2003), o dimensionamento da drenagem proveniente de um lote, condomínio ou outro empreendimento individualizado, estacionamento, parques e passeios são denominados de drenagem na fonte. De acordo com a regulamentação municipal, a drenagem desta área deve possuir uma vazão máxima de saída igual ou menor que a vazão máxima de pré-desenvolvimento.

Canholi (2005) classifica a contenção na fonte de acordo com a disposição no local: constituída por estruturas, obras e dispositivos que facilitam a infiltração e a percolação; o controle de entrega: dispositivos que restringem a entrada na rede de drenagem, como válvulas nos telhados ou o controle nas captações das áreas de estacionamento e pátios; a detenção no local (ou *in situ*):

pequenos reservatórios ou bacias para armazenamento temporário de escoamentos produzidos em áreas restritas e próximas.

Alguns estudos comprovam que quanto mais distante o tratamento se encontrar da fonte, menor a relação custo-efetividade das medidas. Tucci *et al.* (2001) citam valores de US\$ 50 milhões/km para aprofundamento de canais objetivando o controle do escoamento na macrodrenagem por técnicas higienistas (canalização e aprofundamento de rios).

O controle na fonte pode usar diferentes dispositivos que mantenham a vazão de saída do lote ou loteamento a valor igual ou menor que a vazão de pré-desenvolvimento (TUCCI, 2003). Alguns desses dispositivos estão relacionados a seguir.

### **Poços de infiltração**

Para Canholi (2005), os poços de infiltração são as medidas de contenção na fonte mais indicadas quando não se dispõe de espaço ou quando a urbanização existente, já consolidada, inviabiliza a implantação das medidas dispersivas de aumento de infiltração.

Consiste de uma escavação em forma cilíndrica ou retangular com uma estrutura ou preenchimento de pedras para manter a forma da escavação. Podem ser construídos de anéis de concreto perfurado ou pré-moldados. Vários poços podem ser conectados em áreas maiores. Na ocorrência de um evento, parte da água fica armazenada, enquanto parte infiltra na base e nas laterais (Figura 17).

Baptista *et al.* (2005) ressaltam que a infiltração das águas de drenagem pelos poços contribui para a alimentação da vegetação circundante e do lençol subterrâneo, sendo que, em alguns países essa técnica é utilizada exclusivamente para fins de recarga do lençol freático.

Além de permitir a redução dos volumes a serem drenados pelos sistemas clássicos, o poço de infiltração apresenta como característica importante, a facilidade de associação com outras técnicas como trincheiras, pavimentos ou valas.

Os poços de infiltração são bastante utilizados como alternativa de drenagem urbana na França, em cidades como Marselha e Lyon.

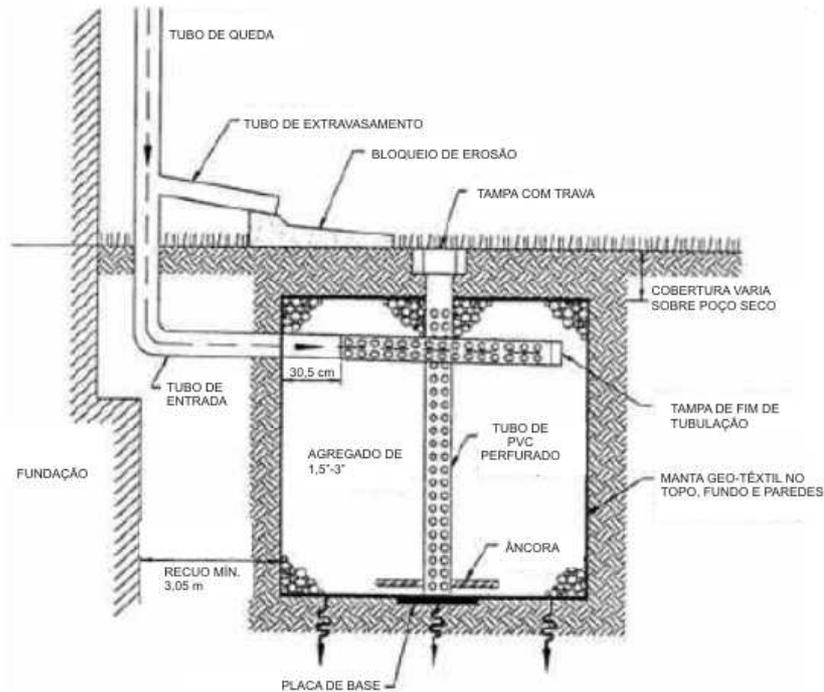


FIGURA 17 - Poço de infiltração.

Fonte: Adaptado de Department of Defense (UNITED STATES, 2004).

### Valas de infiltração

As valas de infiltração compreendem um canal amplo e raso, com vegetação, responsável por infiltrar volumes provenientes de superfícies impermeáveis adjacentes, permitindo que alguns poluentes sejam removidos durante o processo. A função principal dessa técnica é reduzir os picos de vazões escoadas através de infiltração e/ou retenção, com o rearranjo temporal das vazões.

Segundo Tucci (2003), as valas concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento, de forma que eles também podem agir como canais, armazenando e transportando água para outros dispositivos de drenagem. Para facilitar ainda mais a infiltração, podem ser instaladas pequenas contenções ao longo do comprimento, transversalmente ao sentido do escoamento.

As águas pluviais escoam para o interior das valas de forma direta. O armazenamento é efetuado no interior da estrutura, ao ar livre. Na seqüência, as águas são evacuadas por infiltração no solo local, ou por deságüe superficial, diretamente no corpo receptor.

As vantagens da utilização das valas de infiltração são quanto à redução das vazões escoadas a jusante; fácil integração ao paisagismo e ganho financeiro com a redução das dimensões das tubulações da rede de drenagem.

Essas técnicas podem ser utilizadas ao longo do sistema viário, jardins, espaços de lazer, além de contribuir para criação de áreas verdes. As Figuras 18 e 19 apresentam exemplos de utilização de valas de infiltração em espaços públicos.



FIGURA 18 - Valas de Infiltração.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.



FIGURA 19 - Valas de Infiltração.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.

De acordo Maryland (2009), a localização das valas tem de ser cuidadosamente pensada; não são recomendadas para áreas residenciais, devido aos incômodos potenciais, ou por oferecer condições propícias à proliferação de mosquitos.

As valas são muito utilizadas nos EUA e na França, na drenagem de rodovias e área de estacionamentos.

### **Micro-reservatórios**

Costa Junior (2003) ressalta que os micro-reservatórios de retenção são dispositivos de controle do escoamento superficial, normalmente utilizados para atenuar os efeitos da impermeabilização das áreas edificadas nos centros urbanos. Esses dispositivos podem ser implantados em unidades residenciais e comerciais, em locais como jardins, praças, quintais, estacionamentos e parques.

A água armazenada pode ser utilizada para abastecimento (após tratamento), irrigação de grama e lavagem de superfícies ou automóveis, uso em sanitários, ou simplesmente, retida para posterior descarga no sistema de microdrenagem.

Para Tucci (2003), o escoamento das superfícies urbanas tem pequeno tempo de concentração em lotes em virtude das pequenas áreas. O efeito do

armazenamento no escoamento no hidrograma de pequenas áreas pode ser observado na Figura 20; o hidrograma tende a apresentar um patamar de escoamento para precipitações altas de duração média. O efeito do volume na retenção é de diminuição do pico.

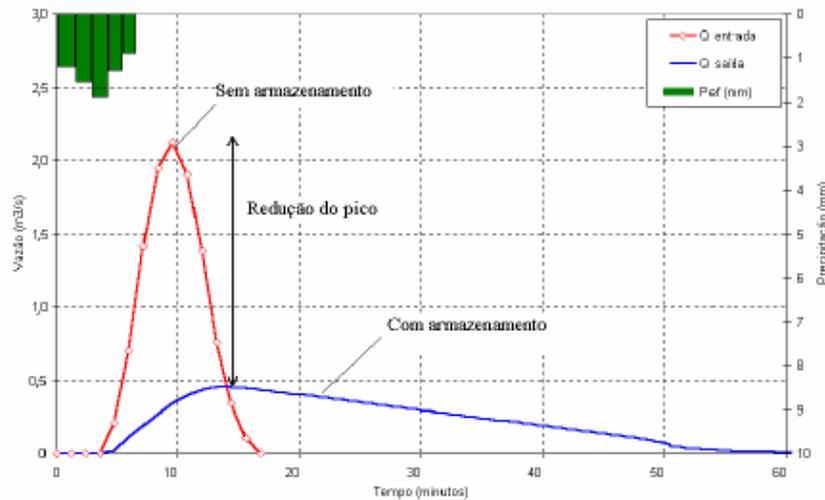


FIGURA 20 - Hidrogramas típicos de pequenas áreas urbanas.  
Fonte: Tucci, 2003.

Países como a Alemanha, Japão e EUA estão empenhados no uso de sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis.

Baptista *et al.* (2005) salientam que o uso dos reservatórios individuais é crescente no Brasil, sendo previsto, recomendado ou obrigatório na legislação de diversos municípios brasileiros, como Belo Horizonte, Porto Alegre e São Paulo.

Os reservatórios individuais são tanques, pré-fabricados, ou em alvenaria, concreto, a céu aberto ou enterrados, implantados ao ar livre, ou dentro de uma edificação, conectados ou não a rede de drenagem. O controle pode ser obtido através do uso de um sistema de calhas e condutores para um coletor com capacidade de armazenamento.

No Brasil, os sistemas alternativos de coleta de água de chuva são utilizados em estados nordestinos visando o consumo humano e a produção agrícola; no entanto, não há uma sistematização no uso dessas técnicas. Em regiões do semi-árido, normalmente as cisternas são construídas em forma cilíndrica, coberta e semi-enterrada, em argamassa de cimento, reforçada com arame e tela, ou em placas de cimento pré-moldadas.

Costa Junior (2003) analisou as possibilidades de implantação de dispositivos de controle, através de caracterização do lote e das medidas de controle

como microreservatório de detenção e pavimentos permeáveis em uma sub-bacia no município de Jaboticabal (SP). Como resultado, o uso dos microreservatórios como medida de controle foi limitado pelos parâmetros topografia e aceitação dos moradores.

Os barris de chuva (Figura 21) apresentam a vantagem de possibilitar o reúso de águas, as quais podem ser empregadas para rega de jardins e lavagem de superfícies. Para eventos com volume superior ao volume de espera dos barris, estes dispositivos perdem efeito prático para o controle da drenagem, quando este é atingido.



FIGURA 21 - Barril de chuva.  
Fonte: Prince George's County, 1999.

Segundo Prince George's County (1999), o armazenamento no lote com posterior reúso também cria oportunidade para conservação e redução de custos para obtenção de água.

Além disso, de acordo com Baptista, et al (2005), as técnicas, com toda a sua diversidade, podem ser associadas de forma a alcançar máxima eficácia. Os autores apresentam ainda, uma possível associação de reservatórios, revestimentos porosos e dispositivos de infiltração, apresentada na Figura 22. No exemplo de associação de técnicas, o reservatório capta as águas dos telhados, que podem ser utilizadas para fins de abastecimento; a água excedente do reservatório é drenada por uma trincheira de infiltração; as águas provenientes dos passeios e estacionamento são direcionadas para os espaços verdes. Escoamentos gerados por eventos pluviais significativos são dirigidos, igualmente, para a trincheira ou, pelas superfícies impermeáveis, para o sistema de drenagem tradicional implantado na via.

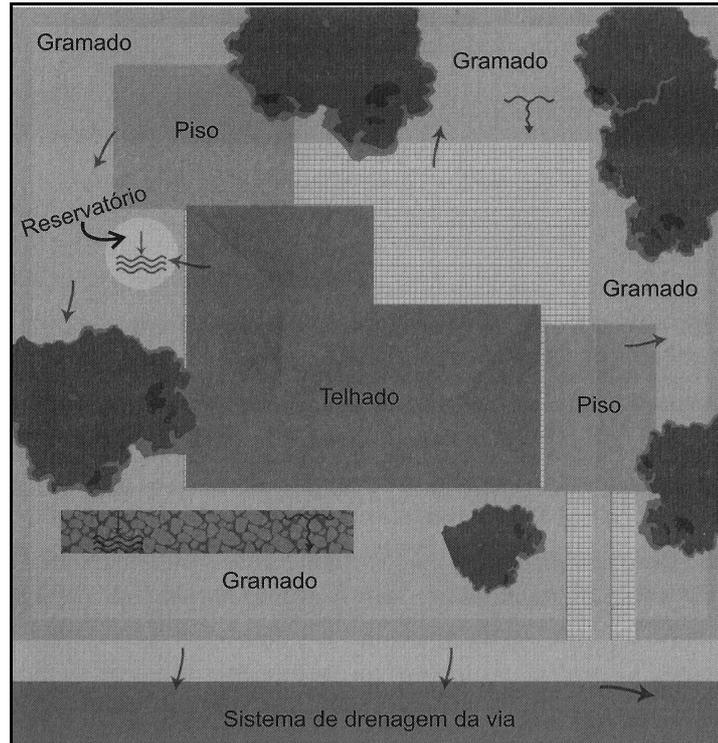


FIGURA 22 – Esquema de combinação de técnicas para gestão das águas pluviais em uma parcela.  
Fonte: Baptista, et al (2005).

### Telhados verdes

Essa técnica consiste na utilização de vegetação rasteira (grama) pré-cultivada nos telhados de edificações (Figuras 23 a 26), providenciando a melhoria da qualidade do ar (até 85% de partículas de poeira podem ser filtradas); amenização de temperaturas e aumento de umidade pela evaporação natural; armazenamento de 30% a 100% de chuvas anuais; e criação de paisagem esteticamente mais agradável (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).



FIGURA 23 - Telhado verde.  
Fonte: VILLANOVA URBAN STORMWATER PARTINERSI (disponível em: <http://www3.villanova.edu/>).



FIGURA 24 - Telhado verde.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.



FIGURA 25 - Telhados verdes.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.



FIGURA 26 - Telhado verde.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.

Para a Universidade Villanova, na Pensilvânia, o projeto também inclui complexos sistemas de irrigação e drenagem; a construção do telhado verde pode ser difícil, devido às muitas camadas que o compõe (Figura 27).

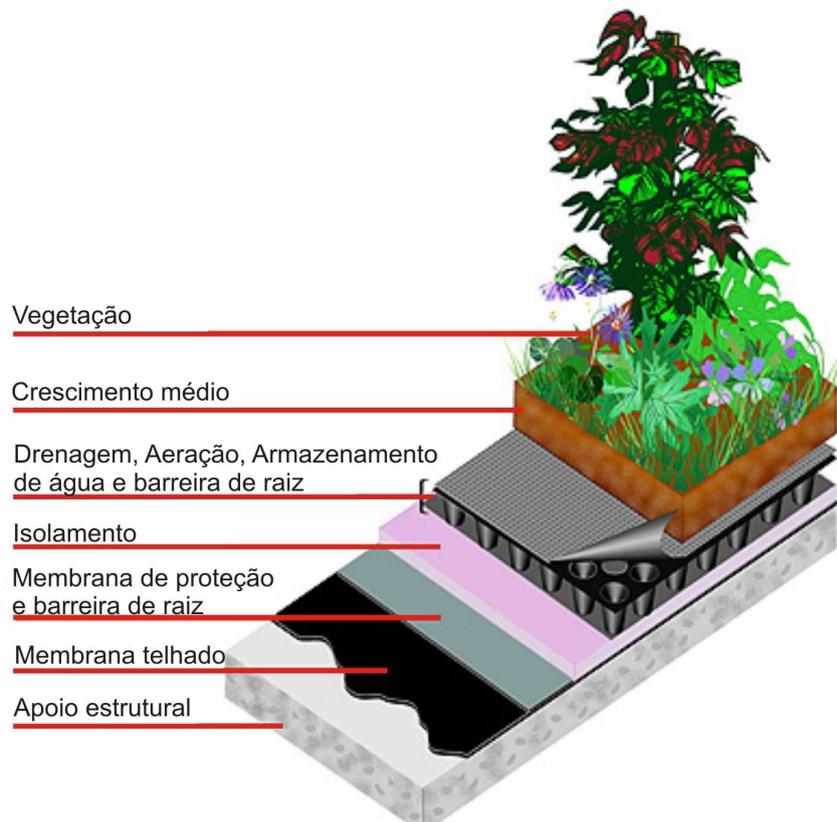


FIGURA 27 – Telhado verde em camadas.  
Fonte: Adaptado de Villanova Urban Stormwater Partinersi (disponível em:  
[http://www3.villanova.edu/VUSP/bmp\\_research/green\\_roof/gr\\_roof\\_main.htm](http://www3.villanova.edu/VUSP/bmp_research/green_roof/gr_roof_main.htm))

No entanto, o emprego de telhados verdes está condicionado ao dimensionamento da estrutura para suportar a carga adicional que estes representam e à aplicação de manta impermeável revestindo a laje. Construções verticais são favorecidas em relação às horizontais por reduzir a área de telhado; já

as casas rurais, normalmente requerem maior cobertura por se espalhar em um nível.

O uso de telhados verdes auxilia na manutenção de áreas verdes e no tratamento e captura de água para posterior reúso, além de oferecer um bom potencial de integração aos projetos arquitetônico e urbanístico.

Os telhados verdes exigem manutenção anual para assegurar o desempenho ideal. Normalmente, são necessários dezoito meses para estabelecer crescimento vegetal adequado; durante esse tempo, é necessária irrigação periódica e adubação.

## 6.2. Técnicas lineares

### Bioretenção

Consiste em uma prática de gestão e tratamento de escoamento de águas pluviais pela utilização de um solo condicionado à plantação e a materiais para filtrar escoamento armazenado dentro de uma depressão rasa.

Os sistemas de bioretenção (Figura 28) são concebidos baseados no tipo de solo, nas condições locais e no uso do solo.

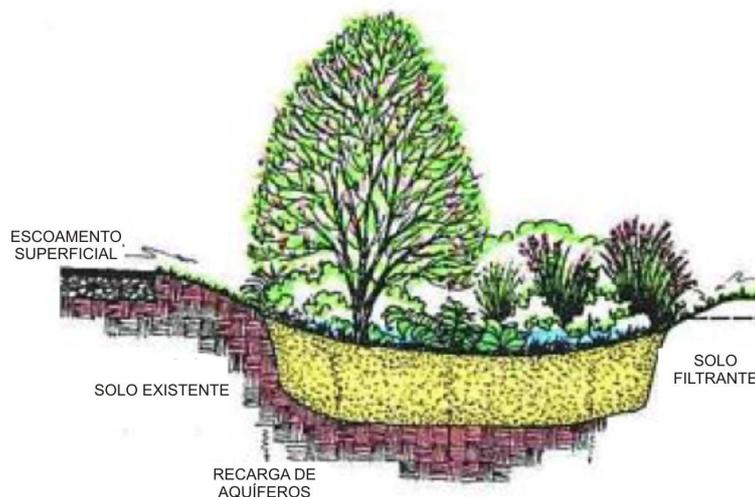


FIGURA 28 – Seção de uma área de bioretenção.

Fonte: Adaptado de ([http://www.lid-stormwater.net/bio\\_benefits.htm](http://www.lid-stormwater.net/bio_benefits.htm)).

Apesar de apresentar aspecto de um jardim convencional (Figura 29), esta técnica realiza um ótimo trabalho de engenharia, sendo necessário para sua manutenção, apenas tratamento paisagístico (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).



FIGURA 29 – Exemplo de Bioretenção.

Fonte: Disponível em (<http://www.wbdg.org/resources/lidtech.php>).

Maryland, nos EUA, concordou em trabalhar para reduzir em 40% os poluentes presentes nas águas pluviais. Uma série de experimentos de laboratório e de campo foram realizados pela Universidade de Maryland, em conjunto com Prince George's County Department of Environmental Resources and the National Science Foundation a fim de quantificar a eficácia das células de bioretenção na remoção de poluentes. Constataram que, devidamente concebidas e construídas, as células de bioretenção são excelentes na remoção de metais pesados presentes nas águas provenientes do escoamento superficial.

### **Trincheiras**

Para Baptista *et al.* (2005), as trincheiras são técnicas compensatórias lineares, implantadas junto a superfícies ou a pequena profundidade, com a finalidade de recolher as águas pluviais de afluência perpendicular a seu comprimento, favorecendo a infiltração e/ou armazenamento temporário. Apresentam largura e profundidade reduzidas, usualmente não ultrapassando um metro, em contraposição às dimensões longitudinais, mais significativas.

O funcionamento deste dispositivo consiste em fazer divergir o escoamento superficial para a trincheira, sendo este armazenado até que possa ser infiltrado no solo, num período de alguns dias. A adaptabilidade e disponibilidade de várias configurações tornam as trincheiras de infiltração ideais para uso em pequenas áreas urbanas. Estas se apresentam mais eficientes e com maior vida útil quando algum pré-tratamento é adicionado ao projeto, como planos ou valos de infiltração (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

As trincheiras podem ser classificadas quanto a forma de evacuação das águas: trincheiras de infiltração, quando a evacuação é feita por infiltração; e

trincheiras de retenção quando sua evacuação se dá através de um exutório. Podem ser revestidas com materiais como asfalto poroso, concreto, grama, entre outros.

São adaptáveis a canteiros centrais e passeios, ao longo do sistema viário, em estacionamentos, jardins, terrenos esportivos, e áreas verdes (Figuras 30 e 31).

O principal inconveniente para o uso desse dispositivo é o entupimento dos espaços entre os elementos pelo material fino transportado; assim, é recomendável o uso de uma manta geotêxtil e é necessária a sua limpeza após algum tempo.



FIGURA 30 - Trincheira de Infiltração.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.



FIGURA 31 - Trincheira de Infiltração.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.

Essa técnica é bastante utilizada em países como Alemanha, Austrália, Inglaterra, Estados Unidos, Suécia e Japão.

No Brasil, Souza (2002) realizou um estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle do escoamento superficial, que comprovou a eficiência do dispositivo como elemento de drenagem. Os resultados apresentados pelo autor indicam que a utilização desse tipo de estrutura pode ser bastante vantajosa na redução dos volumes escoados e das vazões máximas de cheias, principalmente onde o solo se apresentar mais favorável a infiltração.

### **Pavimentos permeáveis**

Os pavimentos permeáveis começaram a ser utilizados na França a partir da década de 70. Atualmente essa técnica é bastante utilizada em países como Japão, Suécia e nos EUA .

A utilização de pavimentos permeáveis é um caminho eficiente de redução do percentual de impermeabilidade em uma bacia. Estes dispositivos se

adaptam melhor para áreas de baixo tráfego, como estacionamentos, vias e passeios.

O uso de pavimentos permeáveis pode proporcionar uma significativa redução dos volumes escoados e do tempo de resposta da bacia para condições similares às condições de pré-desenvolvimento. Em alguns casos, dependendo das características do subsolo, o resultado obtido com a utilização deste tipo de estrutura pode levar a condições melhores que as de pré-desenvolvimento.

Esse tipo de pavimento pode ser de bloco vazado, concreto ou de asfalto; os dois últimos são construídos da mesma forma que os pavimentos tradicionais, com a diferença que o material fino é retirado da mistura (BRASIL, 2006).

Quando esses pavimentos são construídos para reter parte da drenagem, é necessário que sua base esteja pelo menos 1,2 metros acima do lençol freático, no período chuvoso. A base é drenada com canos perfurados espaçados de 3 a 8 metros. O sistema de drenagem deve prever o esgotamento do volume existente na camada do solo num período de 6 a 12 horas (URBONAS E STAHR, 1993).

Para atingir o grau de eficiência, no entanto, a estrutura deve ser utilizada racionalmente, respeitando seus limites físicos e há necessidade de manutenção preventiva, evitando assim o seu entupimento.

Para o *Department of the Environment de Maryland* (2009), os pavimentos permeáveis devem ser utilizados em projetos sempre que possível; o declive do pavimento permeável não deve ser superior a 5%.

As Figuras 32 a 34 demonstram a utilização de blocos de concreto vazado em áreas de estacionamento, passeios e residências. Os blocos de concreto vazados devem ser assentados acima de uma camada de base granular (areia), sob a qual devem ser colocados filtros geotêxteis para prevenir a migração da areia fina para a camada granular.



FIGURA 32 - Utilização de blocos de concreto vazado em piso de estacionamento.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.



FIGURA 33 - Piso de estacionamento em blocos de concreto vazado.  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.



FIGURA 34 - Utilização de blocos de concreto vazado em residência.  
Fonte: TAVANTI, 2008.

As tabelas 02 e 03 demonstram experimentos realizados no Brasil, onde são apresentados valores de coeficientes de escoamento obtidos para diferentes superfícies urbanas.

TABELA 02 - Experimentos em superfícies urbanas.

Superfície	Declividade (%)	Coefficiente de escoamento	Taxa final de infiltração (mm/h)	Precipitação simulada (mm/h)
Gramado	1 a 9	0,54 a 0,68	19 a 23	110 a 142
Chão batido	1,3	0,92 a 0,95		110 a 120
Paralelepípedo antigo	2 a 11	0,88 a 0,95		103 a 128
Paralelepípedo novo	4	0,58 a 0,63	18 a 23	114 a 124
Blockets	2	0,83 a 0,85	10 a 14	116 a 127

Fonte: Genz, 1994.

Araújo *et al.* (2000) avaliaram a eficiência de pavimentos na redução do escoamento superficial: blocos de concreto, paralelepípedo, concreto impermeável, blocos vazados e concreto poroso. Para controle do escoamento superficial, os autores recomendam o uso de superfícies semi-permeáveis e permeáveis em áreas urbanas, em substituição a pavimentos impermeáveis. As limitações identificadas

foram quanto a necessidade de manutenção e o maior custo por m<sup>2</sup>. O aumento do custo específico pode ser compensado pela redução da drenagem resultante da área, já que grande parte do volume se infiltrará.

TABELA 03 - Coeficientes de escoamento associados a diversos tipos de pavimentos.

Revestimento superficial	Coeficiente de escoamento superficial
Asfáltico ou concreto clássico	0,95
Paralelepípedo	0,60
Blocket	0,78
Blocos de concreto vazado.	0,03

Fonte: Araújo et al. (2000).

No estudo realizado por Costa Junior (2003) em que este analisou as possibilidades de implantação de dispositivos de controle, através de caracterização do lote e das medidas de controle como micro-reservatório de detenção e pavimentos permeáveis em uma sub-bacia no município de Jaboticabal (SP), o mesmo concluiu que o uso de pavimentos permeáveis foi restringido pelos parâmetros área livre a aceitação pelos moradores. O autor chama a atenção para o fato de que a população necessita de mais esclarecimentos sobre a relação entre impermeabilização do solo e inundações.

Acioli (2005) investigou a viabilidade técnica do pavimento permeável de baixo custo e tecnologia simples no controle da geração de escoamento superficial na fonte, em um lote de estacionamento, onde foi utilizado como revestimentos o asfalto poroso e blocos vazados intertravados de concreto. O desempenho hidráulico dos pavimentos se mostrou satisfatório, visto que houve um elevado controle do escoamento superficial, com valores de coeficientes de escoamento médios de 5% e 2,3%, respectivamente, para o asfalto poroso e para os blocos vazados.

Portanto, os pavimentos permeáveis se mostram uma técnica bastante eficiente e econômica, sendo uma boa alternativa de controle do escoamento superficial.

### 6.3. Técnicas para controle centralizado

As técnicas para controle centralizado correspondem essencialmente às bacias de detenção e retenção.

As bacias podem ser dimensionadas para manterem uma lâmina permanente de água (retenção), ou secarem após o seu uso, durante uma chuva intensa para serem utilizados em outras finalidades (detenção). O seu uso pode estar integrado junto a parques e outros espaços públicos a fim de possibilitar um bom ambiente recreacional.

#### **Bacias de detenção**

As bacias de detenção têm como função principal armazenar temporariamente os escoamentos, a fim de contribuir para a redução dos impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos em bacias hidrográficas urbanas, visando o controle de inundações. O armazenamento de águas de escoamentos provenientes de um evento faz-se por tempo relativamente curto.

Para Baptista *et al.* (2005), as bacias de detenção são estruturas de acumulação temporária e/ou de infiltração de águas pluviais utilizadas para atender às seguintes funções principais diretamente relacionadas com a drenagem urbana de águas pluviais: (1) amortecimento de cheias geradas em contexto urbano como forma de controle de inundações; (2) eventual redução de volumes de escoamento superficial, nos casos de bacias de infiltração e (3) redução da poluição difusa de origem pluvial em contexto urbano.

Sua composição básica inclui um volume deixado livre para armazenamento de águas de escoamento e/ou a eventual infiltração, usualmente denominado volume de espera, uma estrutura hidráulica de controle de vazão de saída, usualmente uma estrutura de descarga de fundo, controlada ou não por comportas ou válvulas, e um verterdor de emergência.

Baptista *et al.* (2005) classificam as bacias de detenção quanto à forma: *Bacias a céu aberto* (com espelho d'água permanente; bacias secas que armazenam água apenas durante eventos de precipitação (Figuras 35 e 36); e bacias de zonas úmidas); *Bacias subterrâneas ou cobertas* (empregada em zonas

densamente ocupadas onde não há espaço para implantação de bacia a céu aberto).



FIGURA 35 - Bacia de retenção no município de São José do Rio Preto.  
Fonte: TAVANTI, 2008.



FIGURA 36 - Bacia de retenção no município de São José do Rio Preto.  
Fonte: CBH-TG, 2007.

A vantagem de utilização do dispositivo seco é que pode ser utilizado para outras finalidades, tais como, áreas de recreação. Uma prática comum consiste em dimensionar uma determinada área do reservatório para escoar uma cheia freqüente, como a de dois anos, e planejar a área de extravasamento com paisagismo e campos de esporte para as cheias acima da cota referente ao risco mencionado. Quando a mesma ocorrer, será necessário realizar apenas a limpeza da área atingida, sem maiores danos a montante ou a jusante.

Tais técnicas são muito utilizadas nos EUA, Canadá e Austrália.

As práticas sustentáveis citadas ao longo deste capítulo podem assumir múltiplas formas, permitindo sua utilização em diferentes escalas, desde pequenas parcelas até o projeto de sistemas de drenagem para grandes áreas. Elas podem, ainda, integrar-se ao meio ambiente e ao tecido urbano, permitindo usos associados, por exemplo, a áreas de estacionamento, áreas para lazer e prática de esportes, parques, etc.

Outra possibilidade interessante consiste na combinação de diferentes técnicas compensatórias em um mesmo empreendimento, possibilitando a potencialização dos efeitos positivos delas decorrentes.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (*EPA - Environmental Protection Agency*) obriga as cidades com população superior a 100 mil habitantes a estabelecer um programa de gerenciamento da drenagem urbana, através do uso de melhores práticas de gestão (*BMP - Best Management Practices*).

No Brasil, de acordo com o Ministério das Cidades (BRASIL, 2003), algumas cidades têm adotado o conceito de vazão de restrição como instrumento regulamentar para evitar o aumento do risco de inundação e garantir o funcionamento adequado de estruturas de drenagem pré-existentes. Nesse caso, novos empreendimentos urbanos são obrigados a respeitar uma vazão limite superior de lançamento no sistema de drenagem pré-existente ou, sendo o caso, nos meios receptores, deixando-se ao empreendedor a liberdade para definir seu projeto de Urbanização e os meios que utilizará para não ultrapassar a referida vazão de restrição estabelecida prioritariamente. A vazão de restrição é definida com base em critérios distintos, como: vazão natural da área em foco, estimada para um dado tempo de retorno, ou a máxima capacidade de drenagem da infra-estrutura pré-existente a jusante da área a ser urbanizada.

Martins (2006) coloca que a vazão de restrição enquanto instrumento de planejamento caracteriza-se como mecanismo sobre o controle de uso e ocupação do solo uma vez que, destaca a grande importância da preservação das áreas de amortecimento de cheias, dos fundos de vale e as áreas lindeiras aos rios e córregos.

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, através do programa “Saneamento para todos” (BRASIL, 2006), incentiva o uso de elementos permeáveis e o aproveitamento de espaços públicos para amortecimento das cheias, a fim de controlar as inundações. Essa prática diminui os custos de implantação e manutenção do sistema e, sempre que possível, o envolvimento da comunidade com a gestão destas áreas tem se mostrado determinante para a sustentabilidade dos sistemas de drenagem.

## 7. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID)

O método de Desenvolvimento urbano de baixo impacto (Low Impact Development - LID) atua no gerenciamento e controle do escoamento das águas pluviais, procurando imitar as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento do local, usando técnicas de projeto para armazenar, infiltrar, evaporar e diminuir o escoamento superficial.

Estudos desenvolvidos pelo *Department of Environmental Resources* (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999) mostram que as estratégias e técnicas de LID oferecem os caminhos para alcançar as metas e objetivos de gestão de águas pluviais, facilitando o desenvolvimento de planos adaptados a topografia natural, mantendo o rendimento do lote e as funções hidrológicas do local; visando a valorização estética e a gestão de controle de águas pluviais menos custosos.

Assim, segundo Prince George's County (1999), o desafio de planejar com técnicas de LID se encontra em buscar o controle de quantidade e qualidade, por intermédio de práticas integradas e estratégias de projeto, que incluem: recarga subterrânea, retenção ou detenção para armazenamento permanente; controle e captura de poluentes, valorização estética da propriedade; e uso múltiplo das áreas, satisfazendo em alguns casos, normas locais por áreas verdes ou espaço com vegetação.

O controle e a gestão dos impactos são realizados, não somente pela utilização de técnicas estruturais, mas, principalmente, pela educação pública, de acordo com as condições climáticas, geológicas e socioeconômicas, entre outras diferenças.

De acordo com Prince George's County (1999), vale ressaltar os objetivos das práticas de LID:

- a) Providenciar incentivos econômicos que encorajem o desenvolvimento ambientalmente sensível;
- b) Desenvolver todo o potencial de projeto e planejamento ambientalmente sensível;
- c) Auxiliar a construir comunidades baseadas em administração ambiental;

d) Encorajar a flexibilidade em regulamentações que permitam inovações quanto à engenharia e ao planejamento para promover princípios de “crescimento inteligente”;

e) Encorajar debates sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental e quanto à aplicabilidade de práticas correntes em águas pluviais e aproximações alternativas.

Assim, a criação da paisagem hidrologicamente funcional, que imite a natureza, pode ser alcançada por intermédio de:

a) Minimização de impactos por águas pluviais, incluindo diminuição de áreas impermeáveis (Figuras 37 e 38), conservação de recursos e ecossistemas naturais, manutenção de cursos de drenagem, redução de tubulações e minimização de movimentação de terra ainda no planejamento;



FIGURA 37 – Exemplos de redução de áreas impermeáveis em vias.  
Fonte: GEORGIA, 2001a.



FIGURA 38 - Layout típico de rua urbana (Seattle, EUA).  
Fonte: CLEAN RIVER WORKS, 2002.

- b) Dispor de medidas de armazenamento dispersas, pelo uso de práticas que retenham o escoamento, para amenizar ou restaurar distúrbios inevitáveis ao regime hidrológico;
- c) Manutenção do tempo de concentração de pré-desenvolvimento por estrategicamente propagar fluxos e manter o tempo de deslocamento e o controle de descarga; e
- d) Implementação de programas de educação pública efetiva para encorajar proprietários a usar medidas de prevenção à poluição e a manter práticas de gestão da paisagem hidrológicamente funcional no lote.

Alguns conceitos fundamentais que definem a tecnologia de LID devem ser integrados ao processo de planejamento:

***Conceito 1: Uso da hidrologia como parte integrante do projeto;***

Os projetos com técnicas de LID têm o objetivo de imitar os processos naturais do local e criar um processo eficaz de drenagem das águas pluviais.

***Conceito 2: Foco na micro-gestão;***

Nesse contexto, “focalizar micro-gestão” consiste em mudar a perspectiva ou aproximação com respeito ao tamanho da área a ser controlada, trabalhando com micro bacias, e/ou com respeito ao tamanho do controle e emprego de micro-técnicas (IMP).

De acordo com Prince George’s County (1999), a utilização de micro-gestão apresenta como vantagens:

- a) Dispor de um maior leque de práticas que podem ser utilizadas e adaptadas às condições locais;
- b) Permitir uso de práticas de controle que possam providenciar controle de volume e manter as funções de recarga de pré-desenvolvimento, compensando alterações significativas na capacidade de infiltração;
- c) Permitir práticas de controle no lote integradas à paisagem, a superfícies impermeáveis e a características naturais do local;
- d) Reduzir os custos de construção e manutenção por intermédio de projetos com boa relação custo-efetividade, participação e aceitação civil.

***Conceito 3: Controle das águas pluviais na fonte;***

O controle e tratamento do escoamento superficial onde está sendo gerado (na fonte) reduz ou elimina os riscos associados a transporte de poluentes para áreas a jusante, através de tubos e canais. A gestão das águas pluviais na fonte é especialmente útil no caso de um derrame acidental de poluentes, pois o problema pode ser facilmente controlado ou o sistema de tratamento ajustado.

***Conceito 4: Uso de métodos simples não-estruturais;***

Projetos de LID reconhecem o potencial dos sistemas naturais, para interceptar e filtrar poluentes. Estes sistemas naturais são fáceis de projetar, construir e manter, embora a ocorrência natural de filtragem e tratamento pode ser bastante complexa e multidimensional. Benefícios do uso dessas técnicas em pequena escala e sistemas simplificados (tais como alterações do solo, paisagismo, ou re-vegetação) dependem a necessidade de projetos e construções de grande escala.

***Conceito 5: Criação de uma paisagem multifuncional.***

Há uma grande variedade de práticas de LID disponíveis. O principal critério de seleção das mesmas é que a concepção da componente deve satisfazer os objetivos regulamentares e de projeto.

Em resumo, as estratégias americanas de LID atuam estimulando processos físicos, químicos e biológicos naturais, minimizando impactos ambientais e gastos com sistemas de tratamento. Ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos reforçam as vantagens apresentadas por esta concepção do tratamento

da drenagem urbana, controlando não somente o pico, mas também o volume, a frequência e a duração, além da qualidade do escoamento.

A literatura internacional reporta o uso de soluções alternativas para a drenagem das águas pluviais, em regiões como América do Norte, Austrália, Japão e Norte Europeu. As experiências em algumas regiões permitem a elaboração e publicação de manuais que orientam na concepção do projeto, implantação e manutenção de diversas estruturas.

No Brasil, Souza (2005) desenvolveu um estudo que objetivou identificar e avaliar os mecanismos técnico-institucionais que possibilitem a implantação de um sistema de drenagem urbana sustentável. A tecnologia de LID se apresentou como o melhor caminho para a consecução do objetivo almejado, sendo estimadas as alterações institucionais necessárias para a implantação desta nova filosofia de drenagem urbana à cidade de Porto Alegre. Avaliações financeiras foram realizadas, apresentando LID vantagens tanto para instalação (redução de custos de 23% e 30,5% em comparação com a ausência de controle no condomínio e o emprego de reservatório de detenção, respectivamente) como para manutenção (redução de 65% dos custos).

As etapas de desenvolvimento de baixo impacto propostas por Prince George's County (1999), estão descritas no capítulo 14, e serão utilizadas como metodologia de projeto.

## 8. Aspectos Legais referente à Drenagem Urbana

Em análise às legislações pertinentes, notou-se que não existe uma base regulamentar específica sobre técnicas sustentáveis de drenagem pluvial, tanto em nível Federal, quanto no Estado de São Paulo. As esferas Federal e Estadual dispõem apenas de instrumentos legais que podem conduzir ao seu uso, objetivando o controle de escoamentos, a redução da poluição difusa e a proteção dos recursos naturais, conforme descrito nos parágrafos a seguir.

A Lei Federal 6.766/79 se destaca por ser de abrangência nacional, dispondo sobre o parcelamento do solo urbano e, por estabelecer normas e parâmetros capazes de nortear e determinar novas posturas nas legislações estaduais e municipais. Estabelece que não seja permitido o parcelamento do solo: em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas; em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados; em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes; em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação; em áreas de preservação ecológica ou naquelas onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até a sua correção. Em seu art. 4º, especifica que os loteamentos deverão atender como requisitos: ao longo das águas correntes será obrigatória a reserva de uma faixa *non aedificandi* de 15 (quinze) metros de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica.

Além de definir claramente em quais situações de risco ambiental não é permitido o parcelamento do solo, traz a obrigatoriedade de 35% (trinta e cinco por cento) da área da gleba, ser destinada a áreas públicas, como sistemas de circulação, de equipamento urbano, bem como a espaços livres de uso público. Posteriormente, essa lei foi alterada pela Lei Federal nº 9.785 de 29 de janeiro de 1999.

De acordo com a Constituição Federal de 1988 (art. 182), a política de desenvolvimento urbano deve ser executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tendo por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus

habitantes. O artigo 30 define que compete aos Municípios promover o adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano. E o seu artigo 21, estabelece que, compete à União planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e inundações.

A Lei nº 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, também regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Tem como objetivo a preservação e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrente do uso inadequado dos recursos naturais. Dentre as diretrizes que podem ter maior efeito no combate às enchentes destacam-se a integração e articulação da gestão de recursos hídricos com: a gestão ambiental, os planejamentos regional, estadual e nacional e de uso do solo. Como instrumentos, destacam-se os Planos de Recursos Hídricos. A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

A Lei nº 9.984/00 cria a Agência Nacional de Águas - ANA, e é a ela atribuída, no Art. 4º, Item X, a função de “planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações, no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em articulação com o órgão central do Sistema Nacional de Defesa Civil, em apoio aos Estados e Municípios”.

O Estatuto da Cidade, aprovado em 2001 através da Lei Federal nº 10.257, contém instrumentos de política urbana com potencial para o emprego como meio de controle dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e os recursos hídricos. A lei apresenta uma profunda preocupação com as questões urbanísticas e com o direito a cidade sustentável, destacando o seu caráter social. A lei estabelece o Plano Diretor como um dos elementos do planejamento urbano, como instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana; e que deve conter as diretrizes e padrões da organização do espaço urbano, do desenvolvimento socioeconômico, e do sistema político-administrativo, sempre visando melhorar as condições de vida da população.

O Plano Diretor também deve tratar de aspectos de preservação ambiental do espaço, disseminados pela divulgação da proteção ambiental; no

entanto, por falta de conhecimento e orientação, não se observa nenhum dispositivo de prevenção da ocupação das áreas de risco de enchentes.

Um dos instrumentos propostos pela Lei nº 10.257/01 é o direito de preempção (artigos 25 a 27), que confere ao poder público municipal, a preferência na aquisição de imóvel urbano, quando de sua alienação onerosa, para atender a necessidade de implantação de equipamentos urbanos e comunitários, de criação de espaços públicos de lazer e áreas verdes, de ordenamento e direcionamento da expansão urbana e de criação de unidades de conservação e proteção de áreas de interesse ambiental.

A Lei Federal nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Em seu Art. 2º, nota-se que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base em alguns princípios fundamentais, dentre eles, destaca-se a disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado. No Art. 19, fica claro que os planos de saneamento básico deverão ser compatíveis com os planos das bacias hidrográficas em que estiverem inseridos; e serão revistos periodicamente, em prazo não superior a 4 (quatro) anos, anteriormente à elaboração do Plano Plurianual.

A cobrança pela prestação do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas deve levar em conta, em cada lote urbano, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva, considerando o nível de renda da população da área atendida e as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas (art. 36). A lei orienta ainda para que os planos de saneamento básico deverão incluir medidas para reduzir a velocidade de escoamento de águas pluviais em áreas urbanas com alto coeficiente de impermeabilização do solo e dificuldade de drenagem.

No Estado de São Paulo, a Lei nº 12.526 de 02 de janeiro de 2007 estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. O artigo 1º descreve ser obrigatória a implantação de sistema para a captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m<sup>2</sup> (quinhentos metros quadrados).

## **9. Comparação dos efeitos dos processos de Urbanização Convencional e de Baixo Impacto**

No presente capítulo, compara-se teoricamente os conceitos e objetivos do desenvolvimento urbano convencional e do desenvolvimento urbano de baixo impacto (LID), confrontando as suas vantagens e desvantagens, analisando os aspectos hidrológicos, urbanísticos e ambientais, capazes de subsidiar um processo mais racional de combate às inundações.

Sabe-se que o desenvolvimento urbano é o conjunto de processos que conduzem ao crescimento das cidades, por expansão ou por alterações no seu interior. Observa-se que o desenvolvimento urbano das cidades se deu e ainda tem se dado sem considerar as condições naturais do meio físico, resultando assim, em alterações prejudiciais ao ambiente e ao próprio homem.

Para Mota (1999), a utilização do solo nas cidades é feita, muitas vezes, sem respeitar a drenagem natural das águas, ocorrendo o aterramento de margens de rios, riachos, lagoas ou a ocupação de áreas de amortecimento de cheias.

Dentre as práticas urbanísticas convencionais adotadas, destaca-se o desprezo a topografia natural do local, a ocupação dos terrenos marginais aos cursos d'água, o uso de avenidas de fundo de vale associadas à canalização do corpo d'água, além da excessiva impermeabilização dos solos por meio de vias, calçadas, estacionamentos e do próprio lote. Esse tipo de urbanização dá maior dimensão aos impactos e altera o ambiente de forma inadequada.

Nesse tipo de planejamento, o sistema de drenagem é então implantado após o desenvolvimento do espaço urbano, como uma forma de correção dos problemas advindos da ocupação desordenada e sem controle, seguindo o pensamento tradicional de que “a melhor drenagem é a que escoar mais rapidamente possível as águas precipitadas”.

Tais soluções, quando projetadas, atuam de forma localizada sobre trechos críticos, a fim de solucionar problemas já existentes, desconsiderando as conseqüências para a bacia como um todo e as expansões futuras do traçado urbano.

Canholi (2005) coloca que o “conceito de canalização” refere-se à prática da canalização convencional exercida por décadas no mundo todo e particularmente no Brasil, voltada à implantação de galerias e canais de concreto, ao tamponamento dos córregos, à retificação de traçados e aumento de declividades de fundo e demais intervenções, que visavam, prioritariamente, promover o afastamento rápido dos escoamentos e, ainda, o aproveitamento dos fundos-de-vale como vias de tráfego, tanto laterais aos canais como por sobre os mesmos.

A conseqüência imediata dos projetos baseados neste conceito é o aumento das inundações a jusante devido à canalização (TUCCI, 2003); depois que o espaço está todo ocupado, as soluções de drenagem disponíveis são extremamente caras.

Além disso, o investimento na implantação do sistema de drenagem convencional para os novos parcelamentos é responsabilidade do empreendedor, no ato de implantação do empreendimento, conforme definido pela Lei Federal nº 6766/79 que trata do parcelamento do solo urbano; já as obras corretivas, ficam a cargo do Poder Público, portanto, são ônus de toda a sociedade.

Por muito tempo, o planejamento das cidades desconsiderou as conseqüências de modificações ambientais que o processo de expansão urbana ocasiona. Consideravam-se apenas os aspectos sociais, culturais e econômicos para fins de planejamento; essa concepção colocou em risco a sustentabilidade do ambiente urbano.

A ineficiência dos sistemas convencionais em controlar as inundações e a necessidade de soluções adaptadas a um contexto crescente de preservação ambiental evidenciaram as limitações do uso das soluções clássicas, levando ao questionamento sobre a continuidade da sua utilização.

Franco (2001) faz uma prospecção futura onde a cidade se volta para os rios dentro de uma nova estruturação urbana baseada na sustentabilidade ambiental. Essa transformação exige que a sociedade como um todo se empenhe em prol de uma mudança ética e de valores em relação com a natureza, o meio ambiente e a própria urbe, entendida como seu principal habitat. Essa nova ética, baseada em princípios ecológicos, tem por metáfora a “cidade como extensão do corpo humano”, ou, na cidade vista como “ecossistema humano”, onde os recursos naturais deverão ser gerenciados de modo a se promover a qualidade de vida urbana com o mínimo de impacto ambiental.

Baptista et al. (2002) salientam as preocupações com a preservação ambiental em meio urbano pela população, as quais têm se manifestado pela crescente demanda pela valorização da paisagem urbana e, em decorrência pela melhoria da qualidade da água e da preservação global de cursos d'água, lagos e áreas úmidas no meio urbano.

A mudança desse cenário exige alterar o padrão estratégico do planejamento integrado da cidade que envolve planejamento urbano e uso do solo, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana. Todos esses elementos possuem forte interferência entre si e necessitam de soluções integradas (CRUZ, *et.al.*, 2008).

A nova concepção de planejamento urbano deve considerar os aspectos relativos à água, ao uso do solo, além da definição das tendências dos vetores de expansão.

O desenvolvimento urbano de baixo impacto (LID) diferencia-se do uso dos sistemas convencionais, pela necessidade de se tratar da questão das águas pluviais e de seu manejo ao mesmo tempo em que se elabora o projeto urbano. O emprego das técnicas de baixo impacto possibilita a continuidade do desenvolvimento urbano sem gerar custos excessivos, e permite a modulação do sistema de drenagem em função do crescimento urbano, além do tratamento combinado das questões de drenagem pluvial com as questões urbanísticas e paisagísticas.

Em relação ao meio ambiente, com a incorporação das técnicas de LID ao planejamento urbano, é possível a recuperação da capacidade de infiltração das superfícies urbanas, reduzindo os impactos, com ganhos econômicos e estéticos.

As estratégias de LID atuam estimulando processos físicos, químicos e biológicos naturais, minimizando impactos ambientais e gastos com sistemas de tratamento. Os ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos reforçam as vantagens apresentadas por esta concepção do tratamento da drenagem urbana, controlando não somente o pico, mas também o volume, a frequência e a duração, além da qualidade das águas escoadas.

Estas tecnologias são alternativas em relação às soluções clássicas porque consideram os impactos da urbanização de forma global, tomando a bacia hidrográfica como base de estudo, buscando compensar, sistematicamente, os efeitos da urbanização. Esta compensação é efetuada pelo controle da produção de

excedentes de água decorrentes da impermeabilização e evitando-se sua transferência rápida para jusante (BAPTISTA, *et. al.*, 2005).

Em relação à ação sobre o ciclo hidrológico, as técnicas de baixo impacto visam recompor os processos naturais alterados em função da urbanização, atuando na redução dos volumes ou da vazão. Além disso, contribuem efetivamente para a melhoria da qualidade de vida nas cidades, com a redução das cargas de poluição de origem pluvial; com a recuperação e a preservação do meio ambiente; indo no sentido das condições necessárias para o desenvolvimento sustentável.

Souza (2002) acredita que dentro do conceito ambiental da drenagem, e não mais higienista, cada novo espaço urbanizado deve incluir uma compensação para os efeitos de urbanização. Isso vai significar uma recuperação (ou a manutenção) do ciclo hidrológico urbano, de tal modo que a população perceba a existência desse ciclo e participe de maneira ativa de sua manutenção.

A utilização desta nova técnica de planejamento se aplica a novos parcelamentos do solo, e ainda, apresenta vantagens para implantação em empreendimentos já consolidados. Além disso, no desenvolvimento com técnicas de baixo impacto, o custo para o município é nulo, uma vez que as técnicas são executadas por empreendedores privados, por exigência legal do Poder Público, previamente ao recebimento dos equipamentos urbanos pela municipalidade.

Pelo seu enfoque na compensação dos efeitos da urbanização, o desenvolvimento de baixo impacto apresenta inúmeras vantagens com relação às práticas convencionais, conforme Figura 39; uma dessas vantagens é que o rio volta a fazer parte da cidade, devendo se integrar a ela, de forma harmoniosa e agradável (Figura 40); os fundos-de-vale são valorizados através da presença de vegetação, tornando-se atrativos para a população, com a criação de parques urbanos, áreas de lazer e práticas de esportes. Tais vantagens dependem das soluções adotadas e da sua inserção no ambiente urbano.

O processo de integrar estratégias de baixo impacto em regulamentações de uso do solo, como instrumento para resolver impactos associados ao desenvolvimento residencial e comercial, aparece como meta para a obtenção de controle sustentável da drenagem, tendo em vista que providenciam instrumentos efetivos para atingir metas de qualidade e quantidade.

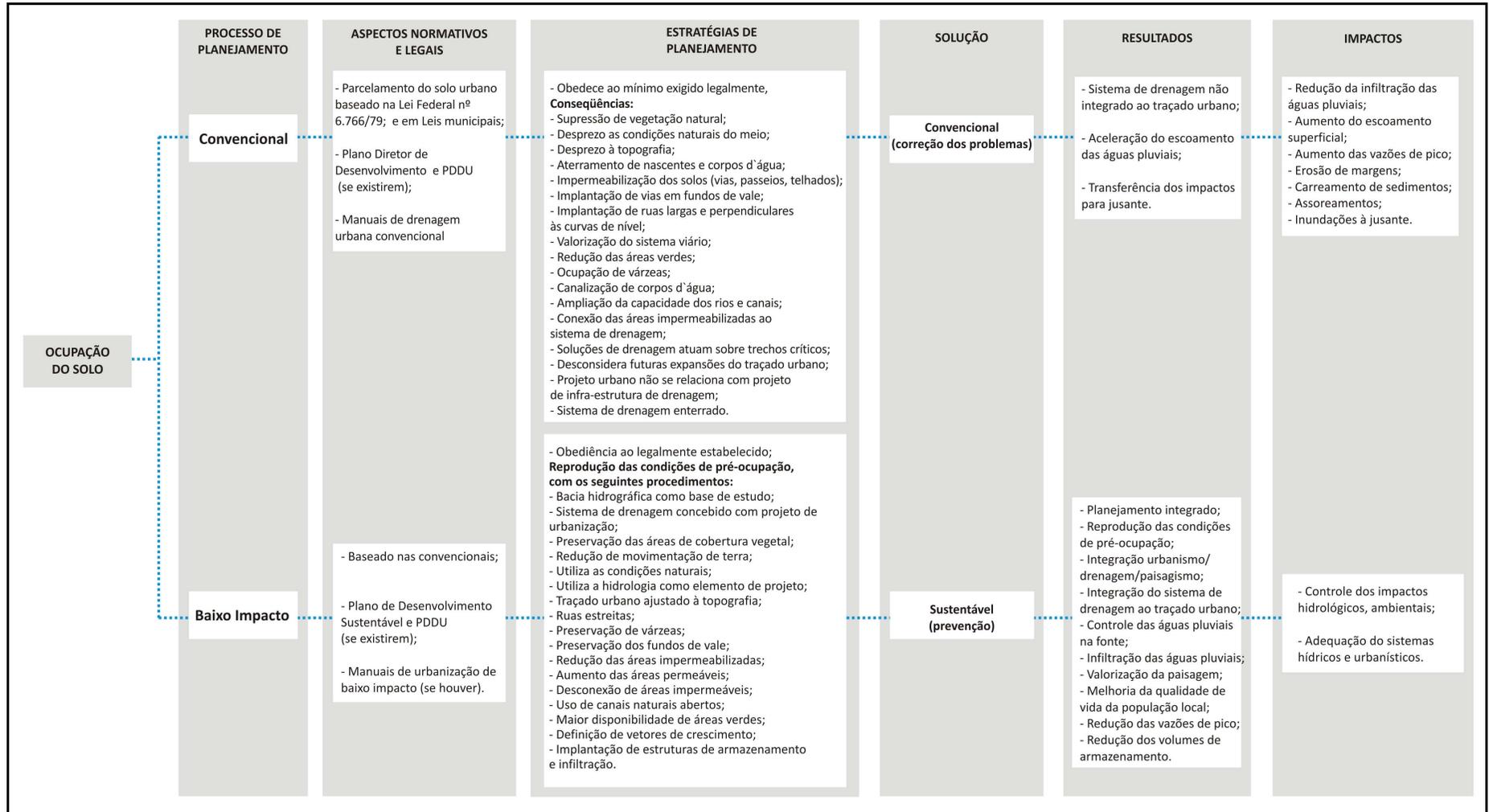


FIGURA 39 - Comparação entre os processos de planejamento urbano convencional e de baixo impacto.

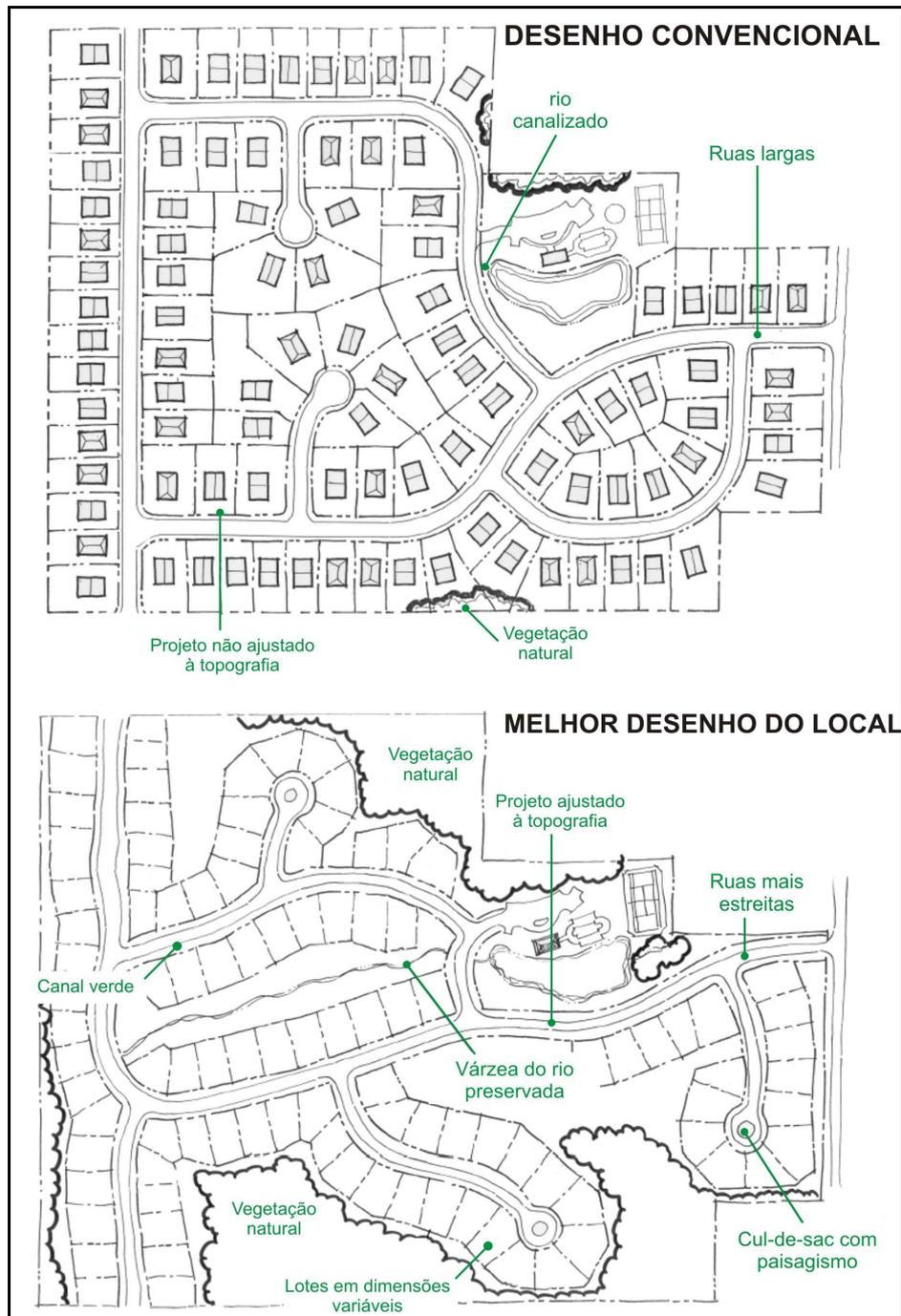


FIGURA 40 - Comparação entre um parcelamento com desenho convencional e um com plano inovador desenvolvido utilizando melhores práticas para desenho do local.

Fonte: Adaptado de Georgia, 2001a.

Conclui-se então que, o processo de desenvolvimento urbano deve basear-se em um planejamento integrado, considerando a bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento e atuação, buscando resgatar a valorização da água no meio urbano, e recuperando a harmonia entre a sociedade e o curso d'água.

**PARTE II**  
**MÉTODO DE ANÁLISE URBANÍSTICA, AMBIENTAL E HIDROLÓGICA**  
**DE PRÉ E PÓS OCUPAÇÃO**

Metodologicamente, o presente trabalho foi desenvolvido em quatro partes, descritas na Figura 41.

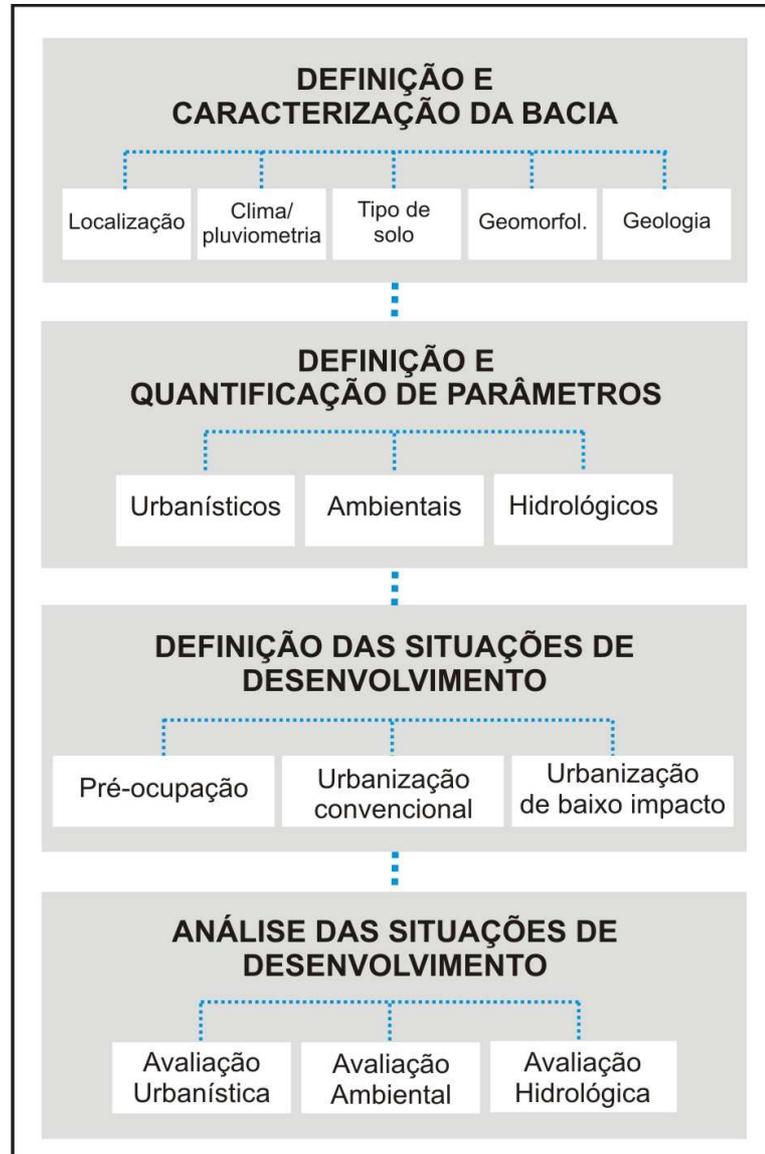


FIGURA 41 – Representação esquemática do método de pesquisa.

## 10. Definição e caracterização da Bacia

A área do Campus da UFSCar foi escolhida para desenvolvimento desse estudo em virtude da facilidade de obtenção de dados, pelo constante monitoramento dos dados de chuva pela estação meteorológica, e por possibilidade

futura de aplicabilidade/implantação de projeto-piloto para demonstrar os benefícios e monitorar o desempenho das técnicas de LID propostas.

As técnicas de LID foram simuladas na área, com condições de solo e chuva da cidade de São Carlos, objetivando averiguar suas vantagens e desvantagens com relação às práticas vigentes.

Através da Carta topográfica (IBGE, 1971) na escala 1:50.000, e do mapeamento disponibilizado pelo Escritório de Desenvolvimento Físico do Campus (ano 2008), foi possível delimitar a área de estudo, e definir os limites da bacia de drenagem.

A adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento permite melhor gestão do uso dos solos e soluções para os problemas.

A área de estudo compreende 8,95 ha, delimitada e caracterizada no capítulo 5. Para caracterização da área, foi realizado levantamento do meio físico, para diagnóstico das condições naturais: topografia, clima e pluviometria, tipo de solo, geomorfologia e geologia.

## **11. Definição de Parâmetros urbanísticos, ambientais e hidrológicos**

Um dos objetivos específicos do trabalho é a avaliação dos aspectos Urbanísticos, Ambientais e Hidrológicos da Bacia para cada condição de desenvolvimento; para isso, foram definidos alguns parâmetros para comparação, conforme relacionados na Tabela 04. A coluna 1 apresenta os aspectos urbanísticos, ambientais e hidrológicos; na coluna 2 encontram-se os parâmetros definidos para os três aspectos. Para esse estudo foram definidos 20 parâmetros, sendo, 07 parâmetros urbanísticos; 05 parâmetros ambientais e 08 parâmetros hidrológicos. Entende-se que tais parâmetros permitem uma comparação, pois representam as condições para as diferentes situações de desenvolvimento.

TABELA 04 – Parâmetros para comparação dos aspectos em diferentes situações de desenvolvimento.

Aspectos	Parâmetros	
Urbanísticos	Áreas permeáveis (m <sup>2</sup> )	Áreas Verdes (m <sup>2</sup> )
		Área em projeção da técnica compensatória (m <sup>2</sup> )
	Áreas Impermeabilizadas (m <sup>2</sup> )	Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )
		Áreas de passeios (m <sup>2</sup> )
		Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )
	Área Impermeável Diretamente Conectada (m <sup>2</sup> )	Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )
		Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )
	Área Impermeável Não Conectada (m <sup>2</sup> )	Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )
		Áreas de passeios (m <sup>2</sup> )
		Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )
	Taxa de ocupação (%)	
	Infra-estrutura de drenagem enterrada (m)	
	Técnicas compensatórias (m <sup>3</sup> )	
Ambientais	Área de Cobertura vegetal (m <sup>2</sup> )	
	Área de gramados (m <sup>2</sup> )	
	Risco de poluição de água subterrânea	
	Risco de poluição de água com finos e outros poluentes	
	Risco sanitário	
Hidrológicos	Tempo de retorno (anos)	
	Tempo de concentração (min)	
	Volume de escoamento superficial direto (m <sup>3</sup> )	
	Intensidade (mm/min)	
	Coeficiente de escoamento superficial (C) ponderado	
	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)	
	Volume de armazenamento para área (m <sup>3</sup> )	
Volume de armazenamento para desconexão de AIDC (m <sup>3</sup> )		

É importante ressaltar, que os aspectos urbanísticos contribuem para o desenho da cidade, fazem parte do planejamento urbano, apresentam a forma como a área está ocupada, e respondem em grande proporção pelas conseqüências da urbanização sobre o meio ambiente. Os aspectos ambientais tratam de garantir a conservação das condições naturais; e os aspectos hidrológicos são de grande importância no processo de planejamento, pois visa resgatar e manter o funcionamento hidrológico de pré-ocupação da área. Para esse estudo, os dados hidrológicos foram adotados.

A percentagem de impermeabilização da bacia é um dos principais fatores a serem considerados. A quantificação das áreas foi obtida através de mapas de uso do solo gerados a partir de cada condição de desenvolvimento analisada. Os

parâmetros apresentados na Tabela 04 foram quantificados e serão utilizados para análise das situações de desenvolvimento.

### **11.1. Quantificação de parâmetros urbanísticos**

#### **Áreas permeáveis**

A permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver (VILLELA, et al., 1975).

As Áreas permeáveis (AP) constituem-se por áreas que permitem a pronta infiltração de água no solo, tais como áreas de gramados, de cobertura vegetal, jardins, praças, parques, sistemas de lazer e outras áreas não pavimentadas. É importante quantificar as áreas destinadas a esses usos, pois são áreas permeáveis, responsáveis por garantir a infiltração das águas no solo.

Para esse estudo, como áreas permeáveis foram consideradas as áreas verdes (gramados e de cobertura vegetal) e as áreas de projeção da técnica compensatória, pois permitem a infiltração da água no solo.

#### **Áreas Impermeabilizadas**

As Áreas Impermeabilizadas (AI) constituem-se por áreas que não permitem a pronta infiltração de água no solo, tais como superfícies pavimentadas, áreas construídas e calçadas. As áreas impermeabilizadas foram obtidas diretamente dos desenhos que caracterizam cada situação de desenvolvimento, considerando como impermeáveis todas as áreas de telhados, passeios, estacionamentos, e vias, desde que o tipo de pavimento utilizado não permita a infiltração das águas.

Segundo Garotti e Barbassa (2009), a impermeabilização do solo é um importante parâmetro urbanístico que reflete o impacto da urbanização sobre os sistemas de drenagem de águas pluviais, podendo ser utilizado na estimativa de valores apropriados para o coeficiente de escoamento (C).

##### **a) Determinação das áreas de vias e estacionamentos**

As Área de vias e estacionamentos compreendem os espaços públicos destinados à circulação e permanência de veículos. As vias são classificadas pelas

funções que desempenham na malha urbana, sendo que a largura varia de acordo com o tráfego que passa por ela, categorizadas em vias locais, vias coletoras, vias arteriais e vias expressas (Mascaró, 2005).

O levantamento e a quantificação dos espaços destinados ao sistema viário são relevantes, pelo fato de compreenderem grandes percentuais de áreas impermeáveis.

#### **b) Determinação de áreas de passeios**

Os passeios são as áreas destinadas à circulação de pedestres, e foram quantificados, pois normalmente apresentam-se como áreas impermeáveis.

#### **c) Determinação de Área de telhado de edifícios**

As Áreas de telhado compreendem as coberturas das edificações. Conhecendo-se as áreas de telhado de edifícios, é possível determinar a taxa de ocupação da área.

### **Área Impermeável Diretamente Conectada (AIDC)**

As AIDC são aquelas que despejam as áreas pluviais diretamente na rede de drenagem, sem que existam perdas entre o ponto em que a precipitação atinge a superfície e a saída da bacia. Para este trabalho, consideraram-se como AIDC as vias, os pátios de estacionamentos e os telhados das edificações ligados por condutores à rede de drenagem.

Para Garotti e Barbassa (2009), as Áreas Impermeáveis Diretamente Conectadas (AIDC) têm um volume escoado próximo do volume precipitado, pois o escoamento é direcionado ao sistema de drenagem, sem oportunidade de infiltração. Nesse caso, admite-se que o coeficiente de escoamento superficial possa ser tomado igual ao percentual de áreas conectadas, negligenciando as pequenas contribuições das áreas permeáveis.

### **Área Impermeável Não Conectada (AINC)**

As Áreas Impermeáveis Não Conectadas (AINC) são aquelas cujo escoamento é dirigido às áreas permeáveis, possibilitando assim, nova oportunidade de infiltração. Na urbanização convencional, são as áreas de passeios; na urbanização de baixo impacto são as áreas de vias e estacionamentos, áreas de passeios e os telhados das edificações.

### **Taxa de ocupação**

A taxa de ocupação (TO) é a relação percentual entre a projeção da edificação e a área do terreno, ou seja, representa a porcentagem do terreno sobre o qual há edificação. Por meio de desenhos disponibilizados pelo EDF (Escritório de Desenvolvimento Físico) do Campus da UFSCar, obteve-se o percentual da área total do terreno ocupado pela projeção das edificações.

### **Infra-estrutura de drenagem enterrada**

A infra-estrutura de drenagem enterrada é entendida como a rede de drenagem existente, ou seja, a galerias e tubulações de águas pluviais. Para esse estudo, a infra-estrutura de drenagem enterrada foi quantificada em metros lineares.

### **Técnicas compensatórias**

Como técnicas compensatórias entendem-se as soluções tecnológicas de drenagem adotadas na Urbanização de baixo impacto, capazes de garantir o armazenamento temporário das águas pluviais e facilitar a infiltração das mesmas no solo. Para esse estudo, adotaram-se como técnicas compensatórias, as valas, a vala/trincheira e os pavimentos permeáveis, dimensionados no capítulo 17.

## **11.2. Quantificação de parâmetros ambientais**

### **Áreas de cobertura vegetal**

Como Cobertura Vegetal, entende-se toda área coberta por vegetação sendo esta arbórea e/ou arbustiva, a serem criadas e/ou preservadas. A determinação e a caracterização das áreas de cobertura vegetal são extremamente importantes, para comprovar a aplicabilidade das propostas de LID de fazer uso da vegetação em projeto.

Para a condição de pré-ocupação, considerou-se a área coberta em sua totalidade por eucaliptos, conforme informações obtidas na carta topográfica (IBGE, 1971) para o período.

Para a condição de urbanização convencional, ressalta-se a modificação da estrutura natural existente, com total ausência de cobertura vegetal.

Considerando que uma das propostas da urbanização de baixo impacto é fazer uso da vegetação em projeto, foram então, para essa condição de desenvolvimento, recriadas as áreas de cobertura vegetal.

### **Áreas de gramados**

Compreendem as áreas cobertas por gramíneas (gramas). A distinção desta entre outras se justifica em função das características detalhadas da superfície, para adoção do coeficiente de escoamento.

Para esse estudo, não serão consideradas as espécies de gramíneas utilizadas nas diferentes condições de desenvolvimento; será considerada apenas a área coberta por estas.

Na condição de urbanização convencional as áreas de cobertura vegetal foram removidas, cedendo lugar a extensas áreas de gramados. No entanto, para a condição de urbanização de baixo impacto, as áreas de cobertura vegetal foram recriadas, e as áreas de gramados foram então reduzidas.

### **Risco de poluição de água subterrânea**

Para Baptista *et al* (2005), o risco de poluição das águas e dos solos depende do cruzamento de duas avaliações: a qualidade das águas de escoamento a serem evacuadas e da vulnerabilidade do meio receptor (corpos d'água superficiais, lençol d'água, solo). No que se refere à qualidade das águas a serem evacuadas, os autores colocam que pode ser avaliada em função da natureza das superfícies drenadas (tipo e ocupação), e se a infiltração é superficial ou sub-superficial e da importância do aquífero para abastecimento, conforme tabela 05, apresentada como referência às prescrições adotadas na Suíça.

A espessura da camada do solo e a permeabilidade do solo são fatores que tornam o aquífero mais ou menos vulnerável. Estes parâmetros serão usados para analisar as possibilidades de uso da infiltração.

TABELA 05 – Possibilidades de infiltração.

Tipo de ocupação	Tipo de infiltração	Área com lençol importante para abastecimento	Área com lençol pouco importante para abastecimento	Outras áreas
Telhados, pistas para bicicletas e caminhos para pedestres	Superfície Subsuperfície	A A	A A	A A
Vias locais e estacionamentos	Superfície Subsuperfície	A P	A P	A P
Estradas e auto-estradas	Superfície Subsuperfície	C P	C P	C P

Legenda: (P) infiltração proibida; (A) infiltração autorizada e conveniente; (C) infiltração autorizada sob condições.

Fonte: Krecji et al. (1983), citado por Baptista et al. (2005).

### Risco de poluição de águas com finos e outros poluentes

As águas carregadas com material fino (terra vegetal, sedimentos...) são inimigas das superfícies drenantes e são prejudiciais para as obras de infiltração (colmatação).

A verificação de risco de colmatação e de falha do sistema pode ser feita conhecendo-se a natureza das águas a serem drenadas a partir dos seguintes aspectos (Baptista et al, 2005):

- a) a presença de solos pouco ou não cobertos com vegetação;
- b) taludes com declividade acentuada; e
- c) proximidade de canteiros de obras, indicam que a probabilidade de afluxo de material fino pode ser apreciável.

### Risco sanitário

Baptista *et al* (2005) ressaltam que, em termos sanitários, os riscos sanitários são ligados à possível estagnação de água em certos tipos de técnicas, resultando no desenvolvimento de organismos vetores de doenças (mosquitos, vírus, bactérias...).

Assim, será observado se nas estruturas propostas há ou não risco sanitário, em função da estagnação de água, considerando que os dispositivos obedecerão ao tempo máximo de esvaziamento e de funcionamento, conforme proposto na literatura.

### 11.3. Quantificação de parâmetros hidrológicos

#### Tempo de retorno (Tr)

O tempo de retorno é o período de tempo médio em que um determinado evento é igualado ou superado pelo menos uma vez (VILLELA *et al.*, 1975). Para este estudo serão avaliadas as vazões para período de retorno de 10 anos, conforme Baptista *et al* (2005).

#### Tempo de concentração (tc)

Consideram como tempo de concentração (tc), o tempo em que a chuva, que cai no ponto mais distante da seção considerada de uma bacia, leva para atingir esta seção. Assim, iniciando a contagem dos tempos no início da chuva, se esta cobrir toda a bacia, o tempo de concentração mede o tempo que leva para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial na seção considerada.

Adotou-se o método cinemático ou das velocidades, para cálculo do tc, o qual possibilita uma estimativa detalhada, pois se constitui da soma dos tempos de percurso de cada trecho (Li) individualmente.

$$t_c = \sum_1^n Li / Vi \quad (\text{equação 1})$$

A velocidade (Vi) em m/s em trechos curtos a montante, com escoamento superficial laminar ou em calhas rasas, pode ser calculada pela equação (McCuen, 1989):

$$Vi = C_v \cdot I^{0,5} \quad (\text{equação 2})$$

O coeficiente Cv é em função da cobertura da superfície e pode ser adotado conforme Tabela 06; e I, a declividade média (m/m) do trecho. Para canais, a velocidade pode ser calculada pela equação de Manning.

TABELA 06 – Escoamento em superfícies e calhas rasas.

Ocupação do solo	Cv
Florestas densas	0,075
Campos naturais pouco cultivados	0,135
Gramas ou pastos ralos	0,210
Solos quase nus	0,30
Canais gramados	0,45
Escoamento em lâmina sobre pavimentos ou em sarjetas em calhas rasas	0,60

Fonte: Rubem Porto, em Tucci et. al (1995).

O coeficiente Cv adotado para a condição de pré-ocupação e para a condição de baixo impacto, corresponde a gramas ou pastos ralos (Cv=0,210). Dessa forma, o valor calculado do tempo de concentração é o mesmo para as duas condições de desenvolvimento.

### Volume de escoamento superficial direto (Vesd)

Embora o método racional forneça somente a vazão de pico, é possível determinar o Vesd através do hidrograma, desde que se admita uma forma triangular para o mesmo, conforme Figura 42.

$$Vesd = Q_p \times t_c \quad (\text{equação 3})$$

Em que:

$Vesd$  = Volume de escoamento superficial direto ( $m^3$ );

$Q_p$  = Vazão de pico ( $m^3/h$ );

$t_c$  = tempo de concentração (h)

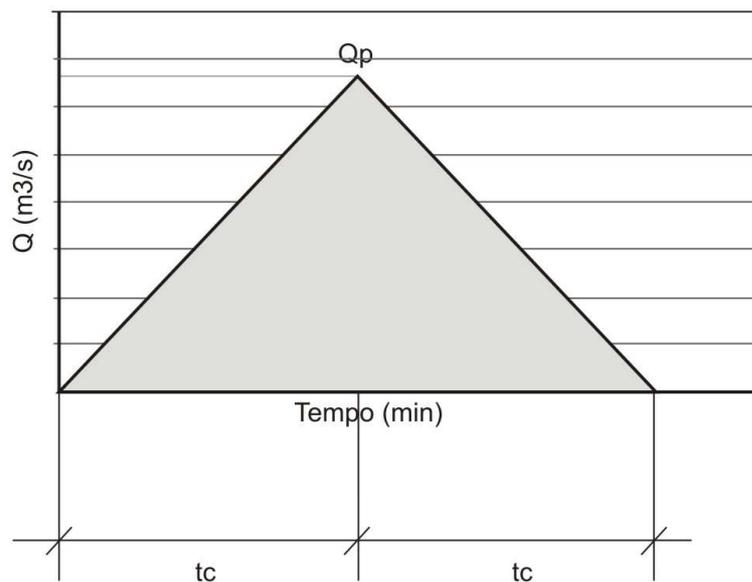


FIGURA 42 – Hidrograma triangular do Método Racional.

### Duração da chuva (d)

Para bacias pequenas, como é o caso da área de estudo, adota-se uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia.

### Coefficiente de escoamento superficial (C)

Para Baptista *et al.* (2005), o coeficiente de escoamento superficial, é o coeficiente que mede o rendimento global da chuva (fração da chuva que chega realmente ao exutório da bacia considerada por meio de escoamento superficial).

O coeficiente de escoamento utilizado no Método Racional depende das seguintes características: tipo de solo, cobertura, uso e ocupação, tempo de retorno, e intensidade da precipitação. Para este estudo foram adotados valores de C, baseando-se na Tabela 07, que exhibe valores do coeficiente de escoamento superficial em relação às características detalhadas da superfície.

TABELA 07 - Valores de Coeficientes de escoamento superficial.

Natureza da superfície	Valores de C
Telhados perfeitos, sem fuga	0,70 a 0,95
Superfícies asfaltadas e em bom estado	0,85 a 0,90
Pavimentação de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0,75 a 0,85
Para as superfícies anteriores sem as juntas tomadas	0,50 a 0,70
Pavimentações de blocos inferiores sem as juntas tomadas	0,40 a 0,50
Estradas mecadamizadas	0,25 a 0,60
Estradas e passeios de pedregulho	0,15 a 0,30
Superfícies não revestidas, pátios de estrada e terrenos descampados	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados e campinas, dependendo da declividade do solo e natureza do subsolo.	0,01 a 0,20

Fonte: Villela, *et al.* (1975).

### Vazão de pico (Q)

Segundo Villela *et al.* (1975), a vazão, ou volume escoado por unidade de tempo, é a principal grandeza que caracteriza um escoamento. Normalmente é expressa em metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) ou em litros por segundo (l/s).

Vários modelos estão disponíveis para simular o procedimento chuva-vazão das bacias hidrográficas. A seleção do modelo adequado dependerá do nível de detalhe e rigor necessários para a aplicação e da quantidade de dados disponíveis para preparar e testar os resultados.

Para este estudo, utilizou-se o método Racional, realizando análise de chuva-vazão. Os princípios básicos do Método Racional são:

- a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que essa condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade;
- adota um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia;
- não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões, portanto não pode ser utilizado para o dimensionamento de reservatórios de amortecimento.

A equação do modelo é a seguinte:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (\text{equação 4})$$

onde:

*Q*: vazão máxima (m<sup>3</sup>/s); *C*: coeficiente de escoamento; *I*: intensidade da precipitação (mm/h); *A*: área da bacia (km<sup>2</sup>).

### **Volume de armazenamento para a área**

Para cálculo do volume de armazenamento, utilizou-se de métodos simplificados, que empregam apenas algumas informações do hidrograma de entrada, tais como, valor do pico, tempo de pico e/ou tempo de concentração. Com tais elementos, estima-se qual deve ser o volume do reservatório necessário para amortecer a vazão criada pelo desenvolvimento urbano.

Segundo McCuen (1989), há vários métodos para estimativa de volumes de detenção. O autor considera que, para planejamento é razoável usar o Método Racional, especificamente o hidrograma triangular e as hipóteses já estabelecidas. Emprega-se aqui o Modelo Generalizado, representado pelas duas equações seguintes:

$$\frac{V_s}{V_{pos}} = \frac{\gamma + \alpha + \alpha \cdot \gamma (\gamma + \alpha - 4)}{\gamma - \alpha} \text{ se } \alpha < 2 - \gamma \quad (\text{equação 5})$$

$$\frac{V_s}{V_{pos}} = \frac{\gamma + \alpha}{\gamma - \alpha} \text{ se } \alpha \geq 2 - \gamma \quad (\text{equação 6})$$

onde:

*V<sub>s</sub>* = volume de armazenamento (m<sup>3</sup>)

*V<sub>pos</sub>* = *Q<sub>pos</sub>* · *t<sub>c\_pos</sub>*

*α* = *Q<sub>a</sub>* / *Q<sub>d</sub>*

*Q<sub>pre</sub>* = vazão de pico antes da urbanização;

$Q_{pos}$  = vazão de pico depois da urbanização;

$$g = t_{C_{POS}}/t_{C_{pré}}$$

$t_c$  = tempo de concentração pós e pré desenvolvimento.

### Volume de armazenamento para desconexão de AIDC

A desconexão das áreas impermeabilizadas foi feita por meio de dispositivos de controle na fonte, cujo volume foi determinado pelo método das chuvas, representado pelas equações seguintes, apresentadas por Baptista *et al.* (2005).

$$DH_{max}(q_s, T) - \text{Max}[P(D, T) - q_s \cdot D] = H(D_p, T) - q_s \cdot D_p \quad (\text{equação 7})$$

Para o autor, o volume de água a armazenar pode ser facilmente determinado por:

$$V_{max} = DH_{max}(q_s, T) \cdot A_a \quad (\text{equação 8})$$

Onde, a diferença entre a curva  $P(D, T)$  e a curva  $q_s \cdot D$  correspondem às alturas a armazenar para diferentes durações; a diferença máxima,  $DH_{max}(q_s, T)$ , associada a duração,  $D_p$ , correspondem à altura máxima específica a armazenar de modo que não haja transbordamento, conforme pode ser visto na Figura 43.

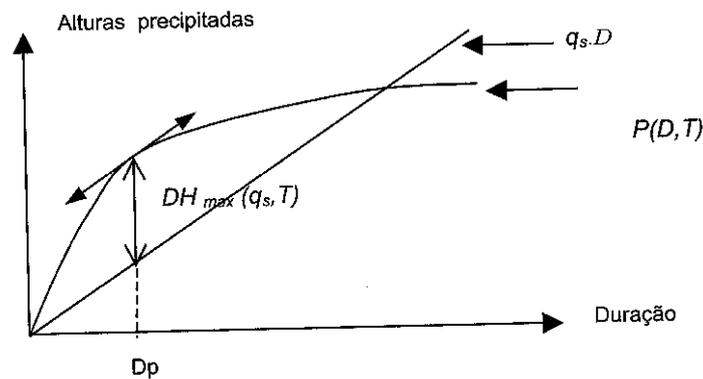


FIGURA 43 – Superposição da curva PD para o período de retorno escolhido e a curva de evacuação.

Fonte: Baptista *et al.*, 2005.

## **12. Definição das situações de desenvolvimento**

Para simular os conceitos e experiências das técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (LID) às condições locais, e comparar os aspectos urbanísticos, ambientais e hidrológicos, foram definidas três situações de desenvolvimento para a área: pré-ocupação, urbanização convencional e urbanização de baixo impacto.

### **12.1. Pré-ocupação**

O comportamento da área foi avaliado baseando-se nas características do solo e sua cobertura, que representa a condição natural do local, antes da intervenção do homem, ou seja, pré-urbanização. As condições naturais envolvem superfícies permeáveis e escoamento em leito natural.

Utilizou-se como base para caracterização deste cenário, o levantamento topográfico e de uso do solo efetuado pelo IBGE em 1971, em escala 1:50.000, folhas SF-23-V-C-IV-3 (Ibaté) e SF-23-Y-A-I-1 (São Carlos).

Os resultados obtidos para a condição de pré-desenvolvimento encontram-se no capítulo 15.

### **12.2. Urbanização convencional**

Compreende a ocupação atual da área e toda a estrutura já implementada, por meio das edificações existentes, com alterações significativas no meio físico e excessiva impermeabilização dos solos, fruto do processo convencional de planejamento.

Para caracterização desse cenário utilizou-se da imagem aérea (disponível em: <http://maps.google.com/>), e do mapeamento disponibilizado pelo Escritório de Desenvolvimento Físico da UFSCar - Universidade Federal de São Carlos, em AutoCAD, escala 1:500, ano 2008, que contém o traçado urbano atual, as edificações existentes e projeções futuras, e a infra-estrutura de drenagem.

Através desse mapeamento foi possível quantificar as áreas permeáveis e avaliar o uso e ocupação do solo atual, com o auxílio do software AutoCAD.

Foram realizadas avaliações *in loco*, levantando as oportunidades e problemas da área; as condições de uso e ocupação do solo, áreas impermeáveis e permeáveis, sistema viário, comportamento do escoamento superficial, dispositivos de drenagem existentes, e carreamento de solo.

### **12.3. Urbanização de baixo impacto (LID)**

Compreende uma nova proposta de desenvolvimento urbano para a área, utilizando-se de técnicas de urbanização de baixo impacto (LID); tais técnicas e estratégias fornecem meios para conseguir manter as águas pluviais no lote; através do desenvolvimento de projetos adaptados à topografia natural; conservando as funções hidrológicas do local; e reduzindo os impactos hidrológicos diretamente na fonte.

Este projeto terá implicações significativas para o uso e ocupação dos solos e desenvolvimento da área, além de garantir a melhoria da qualidade da água resultante de escoamento superficial. Optou-se por considerar em projeto as edificações já implantadas.

Para concepção do projeto, baseou-se no Manual de LID (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

A incorporação de conceitos de LID ao processo de planejamento inclui a consideração de hidrologia como um foco de projeto, a minimização da impermeabilidade, a desconexão de superfícies impermeáveis, o aumento dos caminhos de fluxo e a definição e localização de dispositivos de controle de microgestão. As etapas utilizadas para o desenvolvimento urbano com técnicas de baixo impacto, baseiam-se nos passos propostos por Prince George's County (1999):

*Passo 1: Identificar Zoneamento, uso do solo e outras normas aplicáveis*

Os aspectos normativos a serem analisados dizem respeito ao uso e ocupação do solo e à drenagem urbana, em âmbito Federal, Estadual e Municipal,

pois qualquer proposta de projeto deverá estar fundamentada em procedimentos legais que não contrariem o Plano Diretor municipal e demais legislações vigentes.

As legislações municipais relacionadas com o sistema de drenagem, Plano Diretor Municipal, lei de parcelamento do solo, e a lei de zoneamento, são disponibilizadas pela Prefeitura do município de São Carlos.

#### *Passo 2: Definir condições de desenvolvimento e áreas protegidas*

Para determinar os objetivos que fazem parte do anseio de conservar as condições naturais e definir as condições de desenvolvimento, foram avaliadas as condições prévias das características topográficas, da hidrografia, da existência de áreas protegidas e zonas de conservação, e outras características locais.

A princípio foram levantadas todas as informações possíveis referente à dinâmica natural e a estrutura física da bacia, buscando reunir todos os dados e informações que servirão como subsídios para a elaboração do projeto. Descreveram-se no capítulo 14 os materiais e métodos usados para isto.

#### *Passo 3: Reduzir movimentação de terra*

Os limites de movimentação de terra referem-se ao local para o qual o desenvolvimento está dirigido. Este desenvolvimento da área inclui as áreas impermeáveis, como estradas, calçadas, telhados; e áreas permeáveis, tais como áreas verdes e sistemas de drenagem.

Para minimizar os impactos hidrológicos, fizeram-se:

- Redução de áreas de movimentação de terra para a manutenção das condições naturais, auxiliando por diminuir a necessidade de mitigação dos impactos causados por estas alterações a jusante;
- Preservação das áreas de cobertura vegetal;
- Desenvolvimento de áreas que são menos sensíveis a alterações ou que tenham menor valor, em termos de funções hidrológicas.

#### *Passo 4: Utilizar digitais locais*

As características naturais da área podem ser utilizadas para buscar as “digitais” do local, e fazer uso do caminho natural de drenagem, aproveitando de sistemas naturais em detrimento ao desenvolvimento de sistemas artificiais, e assim, minimizar os impactos hidrológicos.

*Passo 5: Utilizar a drenagem e a hidrologia como elemento de projeto*

Esta etapa consiste em avaliar e compreender a hidrologia local para criar a paisagem hidrologicamente funcional, que imite a natureza.

A avaliação hidrológica pode ser utilizada para minimizar o potencial de escoamento e para manter o tc de pré-desenvolvimento. Esses procedimentos são incorporados no início do processo de planejamento de LID, a fim de compreender e tirar partido das condições locais.

A organização espacial do local é muito importante, sendo o estudo de aptidão de áreas de grande relevância. Sistemas abertos de drenagem podem trabalhar com formas naturais adaptadas ao solo para se tornar um elemento de projeto importante para o planejamento. O sistema de drenagem ajuda a integrar formas urbanas, dando ao projeto uma relação integral e esteticamente mais agradável às características naturais do local, podendo sugerir boas localizações para parques e áreas de jogos, alinhamento de caminhos e locais potenciais de construção.

*Passo 6: Minimizar o total de Áreas Impermeáveis*

O sistema viário (ruas, estradas, calçadas e áreas de estacionamento) compreende a maior fonte de áreas impermeáveis. Assim, algumas técnicas, quando incorporadas ao traçado urbano, reduzem o volume de escoamento total de superfícies impermeáveis, tais como:

a) Layout alternativo das vias: a seleção de um layout alternativo pode resultar numa redução de impermeabilidade total de 26%;

b) Estreitamento de seções de vias: o uso de seções mais estreitas pode reduzir em 33% o total de áreas impermeáveis, economizando ainda pela ausência de sarjetas e meio-fios.

c) Implantação de calçadas a apenas em um dos lados de vias vicinais; em alguns casos, calçadas ou caminhos para pedestres podem ser eliminados em todas as outras ruas.

d) Redução de acostamentos: a redução ou até eliminação de acostamentos dos dois lados da via podem reduzir de 25 a 30% as áreas impermeáveis.

*Passo 7: Desenvolver planejamento integrado preliminar*

Após delinear as condições de desenvolvimento do local e minimizar o total de áreas impermeáveis, o desenho do local servirá de base para condução de

análises comparativas de hidrologia de pré e pós-desenvolvimento, confirmando que o objetivo de criação da paisagem hidrologicamente funcional está sendo cumprido.

Esses procedimentos visam desconectar as áreas impermeáveis inevitáveis, bem como usar técnicas para alterar os caminhos de fluxo, para que o tempo de concentração de pós-desenvolvimento possa ser mantido o mais próximo possível das condições de pré-desenvolvimento.

*Passo 8: Minimizar áreas impermeáveis diretamente conectadas*

Algumas estratégias foram necessárias para minimizar as áreas impermeáveis diretamente conectadas:

- Desconectar calhas e direcionar o fluxo para áreas vegetadas;
- Direcionar fluxos de áreas pavimentadas para áreas vegetadas estabilizadas.
- Estimular escoamento em áreas vegetadas.
- Localizar as áreas impermeáveis para que estas drenem para sistemas naturais, proteções vegetais, áreas de recursos naturais ou zonas/solos infiltráveis.

*Passo 9: Modificar/Aumentar os caminhos de fluxo*

O Tempo de concentração ( $t_c$ ), em conjunto com as condições hidrológicas locais, determina a vazão de pico de um evento chuvoso. Alguns componentes de infra-estrutura e da localização, que afetam o tempo de concentração, incluem:

- Tempo de deslocamento da onda de cheia;
- Declividade da superfície do solo e/ou superfície da água;
- Rugosidade da superfície;
- Tipo, forma e materiais componentes do canal.

Algumas técnicas podem alterar e controlar a duração do escoamento e da vazão de pico (MARYLAND, 1999):

a) Maximizar o fluxo raso de superfície: o local deve maximizar a distância do fluxo e minimizar distúrbios florestais ao longo do caminho de fluxo de pós-desenvolvimento, diminuindo, conseqüentemente, a vazão de pico. Ao preservar áreas de cobertura vegetal, há um aumento da resistência ao escoamento, reduzindo a velocidade. Esta prática irá aumentar o tempo de escoamento e, conseqüentemente, o tempo de concentração. A velocidade de fluxo em áreas niveladas deve ser mantida a mais baixa possível, a fim de evitar erosão do solo.

b) Aumentar e alargar caminhos de fluxo: uma das metas de LID é garantir o máximo de fluxo raso permitido, para que seja aumentado o tempo para escoamento de telhado e vias até os canais abertos de drenagem (valas). Pode-se então direcionar estas águas para bioretenções, trincheiras de infiltração, poços de infiltração ou cisternas localizadas estrategicamente para deter o escoamento antes que este alcance o gramado. O nivelamento do gramado aumenta a rugosidade e o tempo de deslocamento do escoamento superficial.

c) Amenizar declividades locais: a implantação de vias em áreas com acentuadas declividades aumenta o distúrbio ao solo local. Declividades acentuadas normalmente requerem cortes e aterros, caso as vias sigam desenho convencional.

As técnicas de LID de nivelamento para locais com pouco relevo, apresentam declividades máximas de 1% para aumentar infiltração e tempo de deslocamento.

d) Maximizar o uso de sistemas de canais abertos gramados: serão preferenciais os sistemas de drenagem abertos compostos por vegetação ou pedras. O nivelamento e o controle de infiltração podem ser utilizados para reduzir o volume do escoamento.

e) Aumentar e melhorar vegetação do local: o replantio de áreas niveladas, plantio, ou preservação de vegetação existente reduzem a vazão de pico de descarga pela criação de rugosidade adicional, bem como, providenciam retenção adicional, reduzindo o volume de escoamento superficial e aumentando o tempo de deslocamento.

#### *Passo 10: Comparar hidrologia de pré e pós-desenvolvimento*

A presente etapa do processo de planejamento de LID permite avaliar a hidrologia de pré e pós-desenvolvimento, quantificando o nível de controle providenciado pelo processo de planejamento, bem como a necessidade de controle através do uso de IMP - Integrated Management Practices (Práticas de Gestão Integrada).

A caracterização das situações de pré, convencional e de pós-desenvolvimento e a quantificação dos parâmetros hidrológicos foram realizados conforme exposto nos capítulos 15, 16 e 17, respectivamente.

Passo 11: Completar planejamento local de LID para alcançar as condições de pré-desenvolvimento.

Essa etapa compreende um procedimento repetido de etapas de projeto. Baseado nos resultados da avaliação hidrológica, a necessidade por controles adicionais é identificada, sendo atingidas através do uso de IMP.

O processo é efetuado até que todos os requerimentos sejam atingidos. Caso IMP não sejam suficientes, controles convencionais podem ser utilizados. A solução pode vir a ser não-sustentável, quanto à manutenção das taxas naturais de abstração de chuvas, mas deve satisfazer aos anseios de controle do escoamento para os critérios exigidos.

No item seguinte descrevem-se os parâmetros para verificação do atendimento das condições hidrológicas de pré-ocupação, bem como a escolha de técnicas para elevar as perdas hidrológicas, vale dizer, reduzir C ou CN, reduzir tempo de concentração, possibilidades de aplicação de IMP.

### **Parâmetros hidrológicos**

A preservação do regime hidrológico de pré-desenvolvimento pode ser aproximada pela consideração do volume e da vazão de pico, freqüência e duração das chuvas, e gestão da qualidade da água, critérios que facilitam a comparação entre as condições de pré-ocupação, Urbanização convencional e Urbanização de baixo impacto.

### **Planejamento hidrológico da área**

O planejamento hidrológico da área consiste em buscar a melhoria do potencial de escoamento, que pode ser avaliado pelo CN na manutenção, do tempo de concentração (tc) e na Gestão Integrada de águas pluviais próxima à fonte (IMP), para diminuição dos impactos inevitáveis (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

a) Melhoria do potencial de escoamento: o potencial de escoamento se baseia na avaliação da cobertura do solo existente e proposta, de forma que, uma representação precisa do potencial possa ser obtida. O cálculo requer o conhecimento de alguns parâmetros associados com LID:

- ✓ Tipo de cobertura;

- ✓ Percentagem e conectividade de áreas impermeáveis;
- ✓ Tipo de solo e textura; e
- ✓ Condições antecedentes de umidade do solo.

A Tabela 08 demonstra que o planejamento local de LID altera os componentes do CN, resultando em CN menor e maior infiltração.

TABELA 08 - Técnicas de planejamento de LID para redução do CN.

Opções sugeridas para alteração do CN	Limitar o uso de calçadas	Reduzir comprimento e largura de vias	Reduzir o comprimento e a largura de vias privadas	Conservar áreas de recursos naturais	Minimizar distúrbios	Preservar solos infiltráveis	Preservar áreas de depressões naturais	Utilizar áreas de transição	Utilizar valos vegetados	Preservar vegetação
Tipo de cobertura				X	X			X	X	X
Percentual de impermeabilidade	X	X	X					X		
Grupo hidrológico de solo				X		X				
Condição hidrológica				X	X	X				
Desconexão de áreas impermeáveis	X	X	X							
Armazenamento e infiltração				X	X	X	X			X

Fonte: Adaptado de Prince George's County, 1999.

b) Manutenção do Tempo de Concentração: para manutenção do tc, pode ser necessário um processo repetido, que analise diferentes combinações das técnicas apropriadas (tabela 09).

TABELA 09 - Técnicas de planejamento para manutenção do Tc.

Objetivo de LID	Bioretenção no lote	Valos mais largos e mais planos	Manutenção de fluxo raso	Agrupar árvores e arbustos em caminhos de fluxo	Providenciar zonas de transição/conservação de árvores	Minimizar encanamentos pluviais	Desconectar áreas impermeáveis	Salvar árvores	Preservar topografia existente	Zonas de drenagem e infiltração de LID
Minimizar distúrbios	X		X	X	X	X	X	X	X	
Aplainar níveis		X	X			X			X	X
Reduzir declividades		X	X						X	X
Aumentar caminhos de fluxo (desviar ou redirecionar)		X	X	X		X		X	X	
Aumentar rugosidade "n"	X		X	X	X		X	X		

Fonte: Adaptado de Prince George's County, 1999.

c) Manutenção do volume de pré-desenvolvimento: após utilizar de opções que reduzem o potencial de escoamento e que mantêm o tc, caso os objetivos ainda não tenham sido alcançados, reduções adicionais ao volume de escoamento serão completadas por técnicas de gestão distribuídas.

A meta é selecionar as técnicas adequadas, que simulem as funções hidrológicas das condições de pré-desenvolvimento, a fim de manter o CN e o volume correspondente. Os dispositivos são posicionados para prover controles de volume na fonte. Práticas de gestão integrada (IMP, que mantém o volume de armazenamento natural) incluem, mas não se limitam aos seguintes exemplos: bioretenções, trincheiras de infiltração, planos de infiltração e barris de chuva.

Com o aumento do volume armazenado pela retenção, há uma redução correspondente na vazão de pico escoada. Se a quantidade suficiente é armazenada, o pico pode ser reduzido para um nível igual ou inferior a taxa de pré-desenvolvimento (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

d) Necessidade potencial de armazenamento de retenção adicional: embora o tc seja mantido no nível de pré-desenvolvimento e o coeficiente de escoamento superficial tenha melhorado, em alguns casos, o armazenamento por retenções adicionais é necessário para manter a vazão de pico natural devido à distribuição espacial do armazenamento de retenção providenciado.

A seleção e o dimensionamento das técnicas compensatórias de drenagem começam com a definição das metas de controle, utilizando técnicas hidrológicas. Os seguintes passos, propostos por Prince George's County (1999), identificam as oportunidades para controles suplementares e orientam no desenvolvimento do projeto.

*Etapa 1: Definição de controles hidrológicos requeridos.*

Foram quantificadas as funções hidrológicas com respeito a vários parâmetros de projeto, incluindo volume, descarga de pico, frequência e duração. Depois de obtidos esses parâmetros para a condição de pré-desenvolvimento, eles definem e quantificam os controles hidrológicos requeridos para o local.

*Etapa 2: Avaliação de oportunidades e restrições locais.*

O desenvolvimento de baixo impacto (LID) incentiva a inovação na gestão de impactos locais. A tabela 10 exibe as oportunidades e restrições locais propícias ou restritivas à utilização de IMP, tais como requerimentos de espaço, permeabilidade do solo e declividades.

Conforme verificado na revisão bibliográfica, um dos conceitos de LID consiste em planejar controles para áreas pequenas, ou seja, micro bacias, através de práticas de microgestão. Tal combinação permite incorporar as práticas de LID à paisagem e a superar restrições com respeito a espaço, solo, declividades e outros fatores disponíveis, o que não seria possível através de métodos convencionais.

TABELA 10 - Oportunidades e restrições para aplicação de IMP.

	Bio-retenção	Poço seco	Faixa Filtrante/Proteção	Valas (Gramadas, Infiltração, molhadas)	Barris de chuva	Cisterna	Trincheira de Infiltração
<b>Espaço requerido</b>	Intervalo de área superficial mínima: 4,7 a 18,6 m <sup>2</sup> ; Largura mínima: 1,5 a 3,0 m; Comprimento mínimo: 3,0 a 6,0 m; Profundidade mínima: 0,6 a 1,2 m.	Intervalo de área superficial mínima: 0,8 a 1,9 m <sup>2</sup> ; Largura mínima: 0,6 a 1,2 m; Comprimento mínimo: 1,2 a 2,4 m; Profundidade mínima: 1,2 a 2,4 m.	Comprimento mínimo: 4,6 a 6,1 m.	Largura da base: Mínimo: 0,6 m Máximo: 1,8 m	Não influencia.	Não influencia.	Intervalo de área superficial mínima: 0,8 a 1,9 m <sup>2</sup> ; Largura mínima: 0,6 a 1,2 m; Comprimento mínimo: 1,2 a 2,4 m;
<b>Solos</b>	Solos permeáveis com taxas de infiltração > 6,6 mm/h; limitação de solos pode ser superada com uso de drenos subterrâneos.	Recomenda-se solos permeáveis com taxas de infiltração > 6,6 mm/h.	Solos permeáveis trabalham melhor; mas o solo não é uma limitação.	Solos permeáveis fornecem melhor desempenho hidrológico, mas o solo não é uma limitação. A seleção do tipo de vala (Gramados, Infiltração, molhados) é influenciada pelo tipo de solo.	Não influencia.	Não influencia.	Recomenda-se solos permeáveis com taxas de infiltração > 13,2 mm/h.
<b>Declividades</b>	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto.	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto. Deve estar localizada a jusante de edificações e fundações.	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto.	Declividade lateral do valo: 3:1 ou mais aplainada. Declividade longitudinal: mínima: 1%; máxima baseada em velocidades permissíveis.	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto para localização de saída de barris.	Não influencia.	Usualmente não é limitante, mas uma consideração de projeto. Deve estar localizada a jusante de edificações e fundações.
<b>Lançol freático/ Leito rochoso</b>	Recomenda-se 0,6 a 1,2 m livres acima do lançol freático/leito rochoso.	Recomenda-se 0,6 a 1,2 m livres acima do lançol freático/leito rochoso.	Geralmente não é uma restrição.	Geralmente não é uma restrição.	Geralmente não é uma restrição.		0,6 a 1,2 m livres.
<b>Proximidade a fundações de edificações</b>	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.	Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.	Não influencia.		Recomenda-se distância mínima de 3,0 m a jusante de edificações e fundações.
<b>Profundidade máxima</b>	Profundidade de 0,6 a 1,2 m dependendo do tipo de solo.	Profundidade de 1,8 a 3,0 m dependendo do tipo de solo.	Não aplicável.	Não aplicável.	Não aplicável.		Profundidade de 1,8 a 3,0 m dependendo do tipo de solo.
<b>Manutenção</b>	Baixa necessidade; proprietário pode incluir na manutenção paisagística local.	Baixa necessidade;	Baixa necessidade; manutenção paisagística rotineira.	Baixa necessidade; manutenção paisagística rotineira.	Baixa necessidade.		Moderada a alta

Fonte: Adaptado de Prince George's County, 1999.

Etapa 3: Busca por práticas adequadas.

Baseando-se nas restrições e oportunidades locais, foi realizada uma avaliação das práticas disponíveis; IMP inadequadas foram excluídas de considerações posteriores.

Alguns critérios foram considerados na busca por práticas adequadas: aspectos físicos (topografia, existência de exutório permanente, capacidade de infiltração do solo, estabilidade do subsolo, nível do lençol freático), aspectos urbanísticos (espaço disponível, redes existentes), aspectos sanitários e ambientais (risco de poluição, risco de águas com finos, risco sanitário) e aspectos sócio econômicos (aceitação das técnicas pela população).

Trata-se de um processo de projeto e planejamento integrado, onde as práticas podem não ser suficientes por si só sem a combinação com procedimentos de planejamento.

Baptista *et al* (2005) apresenta a tabela 11 onde são explicitadas as restrições inerentes à cada técnica, relativas à metodologias européias e norte-americanas, na busca por práticas adequadas.

TABELA 11 – Importância relativa de restrições à implantação e operação das técnicas.

Técnica	Restrições à implantação e operação das técnicas					
	Permeabilidade do solo	Declividade	Proximidade do lençol	Proximidade de leito rochoso	Restrições ao uso do solo	Aporte de sólidos
<b>Bacia de detenção</b>	+	+	+	++	+++	++
<b>Bacia de infiltração</b>	+++	+	+++	+++	+++	+++
<b>Valas e valetas de detenção</b>	+	++	+	++	++	++
<b>Valas e valetas de infiltração</b>	+++	+++	+++	+++	++	+++
<b>Pavimentos porosos</b>	++	+++	++	+	+	+++
<b>Revestimentos permeáveis</b>	++	+++	++	+	+	+++
<b>Trincheiras de detenção</b>	+	++	++	++	++	+
<b>Trincheiras de infiltração</b>	+++	+++	+++	+++	++	+
<b>Poços de infiltração</b>	+++	+	+++	+++	+	+
<b>Telhados armazenadores</b>	+	+	+	+	+	+
<b>Reservatórios individuais</b>	+	+	++	++	+	+

Legenda: +++: grande importância; ++: média ou possível importância; +: importância pequena ou nula.

Fonte: Baptista et al (2005).

*Etapa 4: Avaliação de IMP adequadas*

Após identificadas, as IMP adequadas foram utilizadas conforme local apropriado, sendo aplicados os métodos hidrológicos para verificar se a combinação de IMP alcança os objetivos de controle hidrológico. Não atingindo os objetivos na primeira tentativa, foi necessário um processo repetido para completar o dimensionamento de IMP até que os objetivos hidrológicos fossem alcançados.

*Etapa 5: Seleção de configuração e projeto preferidos.*

O processo repetido de projeto define um número de combinações de IMP. Para atingir uma melhor configuração, tem-se a opção de utilizar uma variedade de IMP de acordo com os fatores de projeto, a fim de prover o controle hidrológico a custos razoáveis.

## **13. Análise das Situações de desenvolvimento**

O presente capítulo compreende a análise de cada uma das situações de desenvolvimento, sob os aspectos urbanístico, ambiental e hidrológico, baseando-se nos parâmetros propostos para comparação, a fim de avaliar a melhoria do potencial de escoamento, a manutenção do tempo de concentração (tc), e a mitigação dos impactos na Bacia.

### **13.1. Avaliação Urbanística, Ambiental e Hidrológica**

A avaliação urbanística se realizou em função do uso do solo, da ocupação, do traçado urbano e da infra-estrutura. Para isso, utilizou-se dos parâmetros quantificados para comparação entre as diferentes condições de desenvolvimento.

A avaliação ambiental considerou as questões da paisagem urbana, e de qualidade ambiental, a partir da quantificação das áreas de cobertura vegetal e das áreas de gramados, além da possibilidade de risco de poluição, risco de água com finos e risco sanitário, para cada condição de desenvolvimento.

Delimitou-se a análise no aspecto de extensão de vegetação, fator que, por sua vez, influencia no ciclo hidrológico, através de fenômenos como interceptação e infiltração das águas da chuva no solo. Nesse contexto, a quantificação das áreas de cobertura vegetal e áreas de gramados são fundamentais para demonstrar os benefícios hidrológicos, bem como, melhorias ambientais e paisagísticas.

A avaliação hidrológica é essencial para verificar se na urbanização de baixo impacto foi possível manter as condições mais próximas possíveis das condições naturais, atingindo a redução das vazões de pico e do volume de armazenamento. Para este estudo, a avaliação hidrológica será realizada através da análise de hidrogramas para as diferentes condições de desenvolvimento da área.

Para seleção de evento de projeto para LID, o critério utilizado se baseia na manutenção das condições hidrológicas de pré-desenvolvimento. Por isso da necessidade de estimar as condições naturais. As estratégias de projeto de LID

visam controlar os eventos chuvosos, inferiores à chuva de projeto, para os parâmetros:

a) Controle do volume: a manutenção do coeficiente de escoamento pode ser realizada por compensação, por intermédio de considerações de projeto e planejamento.

b) Controle da vazão de pico: mantém a descarga de pico de pré-desenvolvimento para todas as chuvas inferiores à de projeto.

c) Controle da frequência/duração do escoamento: a duração e frequência para as condições de urbanização devem ser aproximadas à condição de pré-ocupação, para a utilização de LID.

d) Controle de qualidade da água: a condição de urbanização de baixo impacto é projetada para absorver pelo menos os primeiros 10 mm de escoamento de áreas impermeáveis, através do uso de práticas de retenção.

**PARTE III**  
**DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO APLICADO AO PROCESSO**  
**DE PLANEJAMENTO**

## **14. Aplicação de práticas sustentáveis de LID dentro do Campus da UFSCAR**

Localizada no Estado de São Paulo, a cidade de São Carlos possui uma população de 212.956 habitantes, e uma área territorial de 1.141 Km<sup>2</sup>, de acordo com IBGE (2007).

O Rio do Monjolinho é o principal corpo d'água da região onde se encontra implantada a malha urbana do município de São Carlos (Figura 44), e tem como principais tributários, os córregos do Espraiado, Santa Maria Madalena, Tijuco Preto, do Gregório e Mineirinho. A área total compreendida pela sub-bacia do Rio do Monjolinho é de aproximadamente 273,00 km<sup>2</sup> (MONTANO, 2002).

O Rio do Monjolinho é um dos afluentes do Jacaré-Guaçu, que por sua vez, deságua na margem direita do Rio Tietê, integrando a UGRHI 13, denominada Bacia do Tiete/Jacaré.

A área de estudo encontra-se no *Campus* da Universidade Federal de São Carlos (Figura 45), na sub-bacia do Rio do Monjolinho, no município de São Carlos.



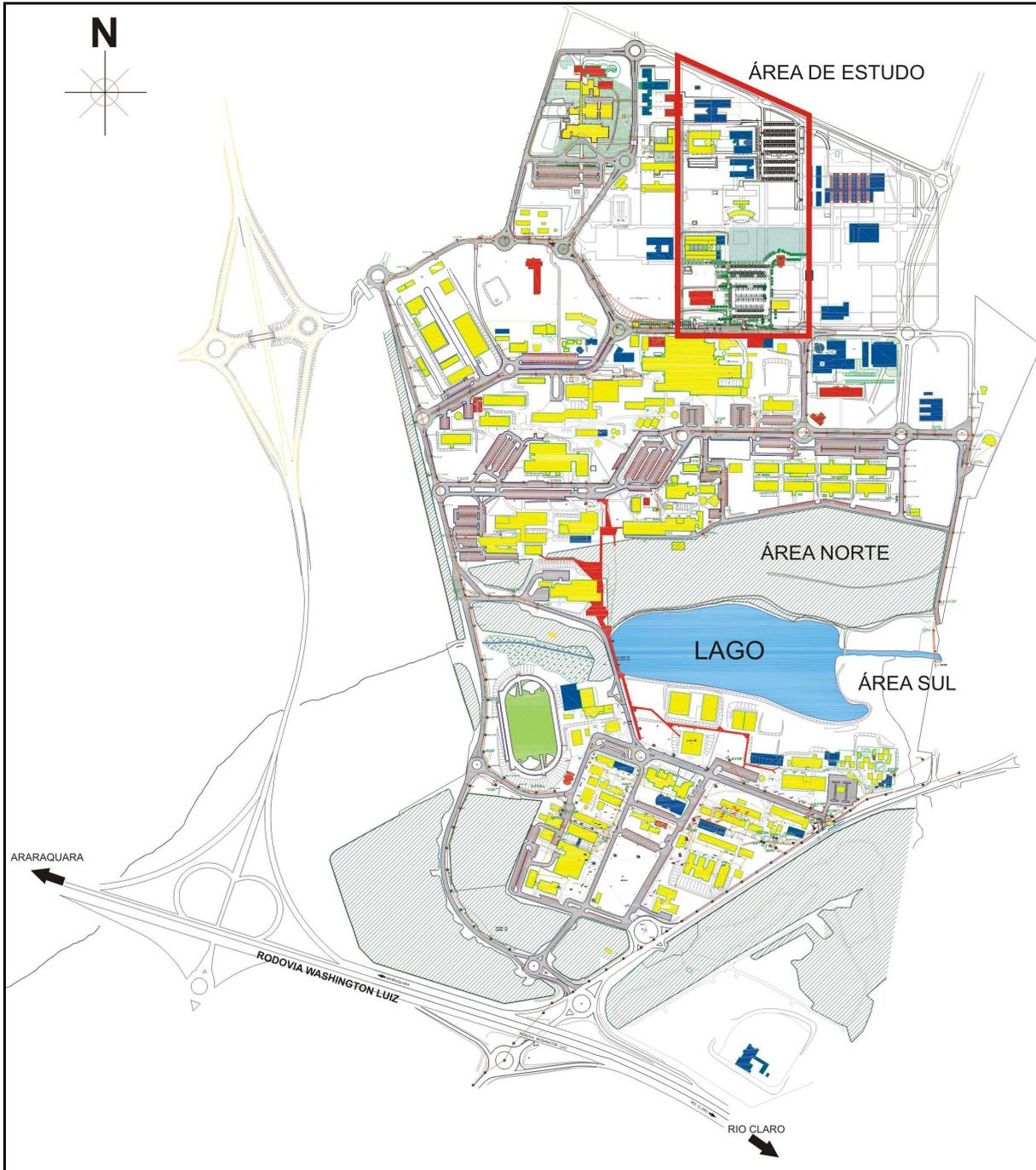


FIGURA 45 - Localização da área de estudo em relação ao Campus da UFSCar.  
Fonte: Adaptado do Escritório de Desenvolvimento Físico da UFSCar, 2008.

Quanto ao uso e ocupação do solo, verifica-se que as atividades agrícolas sempre ocuparam um lugar de destaque na economia, participando ao longo dos anos dos diversos ciclos econômicos que foram responsáveis pela construção das paisagens regionais, gerando grandes impactos ambientais e modificando a estrutura natural existente (SÉ, 1992; ESPÍNDOLA et al., 2000).

O campus da Universidade Federal de São Carlos apresenta padrões de uso e ocupação do solo bastante dinâmicos que, além de atender às atividades de ensino e pesquisa da instituição, representam grande potencial paisagístico, recreativo e educacional para a população do município.

### **Clima e pluviometria**

Para DORNELLES (2006), o clima da região é classificado como Cwb, segundo a sistemática de Koeppen, com estações climáticas bem definidas: uma seca (de abril a setembro) e outra chuvosa (de dezembro a fevereiro), o que caracteriza um ritmo climático tipicamente tropical. O clima da região Sudeste, onde se localiza a Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho, é classificado como Tropical (pelo ritmo sazonal das precipitações); Sub-quente (por apresentar temperatura média anual abaixo dos 22°C e pelo menos um mês com temperatura média inferior a 18°C) e Úmido (por ter uma curta e pouco sensível estação seca no inverno).

A precipitação pluviométrica está em torno de 1.500 mm anuais (SÉ, 1992).

### **Tipo de solo**

Na área da Bacia do Rio do Monjolinho observa-se a presença predominante de solos do tipo latossolos, seguindo-se solos do tipo areias quartzozas, dos tipos litólicos, hidromórficos e terra roxa estruturada, ocupando pequenas áreas. Esses solos são aqueles transportados pelos ventos e pelas águas que formam solos intermediários (ESPÍNDOLA et al., 2000).

Para Villela (1975), a capacidade de infiltração é a razão máxima com que um solo, em uma dada condição, é capaz de absorver água. Alguns fatores intervêm no fenômeno da infiltração: umidade do solo, permeabilidade do solo, temperatura do solo e profundidade do extrato impermeável.

Costa Junior (2003) ressalta que a infiltração é entendida como a passagem da água pelas camadas superiores do solo, para suas camadas inferiores; dependendo do tipo de solo, suas propriedades físicas, do estado da sua superfície (grau de compactação), grau de umidade inicial e disponibilidade de água.

## **Geomorfologia**

Geomorfologicamente a bacia hidrográfica do Rio do Monjolinho faz parte de uma área pertencente a Cuestas Basálticas. Do ponto de vista morfológico, apresenta um relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica, acompanhado de uma sucessão de extensas plataformas estruturais de relevo suavizado, inclinadas para o interior em direção a calha do rio Paraná (SÉ, 1992).

Para o IPT (2000), predominam na área as colinas médias, interflúvios com áreas de 1 a 4 Km, topos aplainados, vertentes com perfis convexos e retilíneos; drenagem de média a baixa densidade, vales abertos e fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes e intermitentes.

## **Geologia**

Na região predominam os relevos de morros, de modo que as colinas e morrotes da Depressão Periférica e do Planalto Ocidental ficam separados por uma faixa de relevo mais acidentado. Quanto à drenagem, destaca-se por um sistema diversificado que abriga os rios que nascem em outras Províncias Geomorfológicas, como na Depressão Periférica e Planalto Atlântico (DORNELLES, 2006).

Para o autor, predominam na área da bacia do Rio do Monjolinho as formações geológicas Formação Serra Geral e Formação Botucatu, pertencendo ao grupo São Bento, e a Formação Adamantina, relativa ao grupo Bauru.

**PARTE IV**  
**ANÁLISE DAS SITUAÇÕES DE DESENVOLVIMENTO E ESTRATÉGIAS DE**  
**MITIGAÇÃO DE IMPACTOS**

Esta parte trata da análise das três situações de desenvolvimento consideradas para a área: pré-ocupação, urbanização convencional e urbanização de baixo impacto, descritas nos capítulos 15, 16 e 17, respectivamente.

O projeto de urbanização de baixo impacto, compreende a simulação das estratégias de LID na área, e encontra-se no capítulo 17.

Visando a análise das vantagens e desvantagens do desenvolvimento com LID em relação às práticas convencionais de urbanização, os parâmetros são quantificados e comparados para as diferentes condições de desenvolvimento, possibilitando avaliações urbanísticas, ambientais e hidrológicas.

Além disso, estimaram-se os custos para implantação/manutenção das estruturas propostas para a condição de urbanização de baixo impacto, comparando-os aos custos dos sistemas convencionais de drenagem, como descrito no capítulo 18.

## **15. Situação Pré-ocupação**

Nas cartas topográficas de São Carlos e Ibaté (IBGE, 1971) foi possível averiguar as condições de pré-ocupação da área de estudo, onde predominava como uso do solo, o cultivo de eucaliptos.

Os parâmetros foram então quantificados para a situação de pré-ocupação (tabela 12), considerando que, para o ano de 1971, a área encontrava-se em sua totalidade coberta por vegetação.

Em análise à Tabela 12, nota-se que, na condição de pré-ocupação, 100% da área, ou seja, 8,95 ha são de áreas permeáveis (cobertura vegetal), permitindo a pronta infiltração de água no solo.

TABELA 12 – Quantificação de parâmetros para a situação de pré-ocupação.

Aspectos	Parâmetros	Pré-ocupação	
Urbanísticos	Áreas permeáveis (m <sup>2</sup> )	Áreas Verdes (m <sup>2</sup> )	89.500
		Área em projeção da técnica compensatória (m <sup>2</sup> )	0
	Áreas Impermeabilizadas (m <sup>2</sup> )	Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0
		Áreas de passeios (m <sup>2</sup> )	0
		Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0
	Área Impermeável Diretamente Conectada (m <sup>2</sup> )	Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0
		Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0
	Área Impermeável Não Conectada (m <sup>2</sup> )	Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0
		Áreas de passeios (m <sup>2</sup> )	0
		Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0
Taxa de ocupação (%)		0	
Infra-estrutura de drenagem enterrada (m)		0	
Técnicas compensatórias (m <sup>3</sup> )		0	
Ambientais	Área de Cobertura vegetal (m <sup>2</sup> )	89.500	
	Área de gramados (m <sup>2</sup> )	0	
	Risco de poluição de água subterrânea	NÃO	
	Risco de poluição de água com finos e outros poluentes	NÃO	
	Risco sanitário	NÃO	
Hidrológicos	Tempo de retorno (anos)	10	
	Tempo de concentração (min)	26,07	
	Volume de escoamento superficial direto (m <sup>3</sup> )	312,00	
	Intensidade (mm/min)	1,34	
	Coeficiente de escoamento superficial (C) ponderado	0,10	
	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)	0,20	
	Volume de armazenamento para área (m <sup>3</sup> )	0	
Volume de armazenamento para desconexão de AIDC (m <sup>3</sup> )	0		

Quanto aos parâmetros hidrológicos, baseando-se na metodologia proposta, adotou-se o coeficiente de escoamento superficial (C) de 0,10 em função da cobertura vegetal de pré-ocupação, com período de retorno de 10 anos e tempo de concentração (tc) de 26,07 minutos; a Intensidade média de precipitação é de 1,34 mm/min. Calcula-se pelas equações 3 e 4, uma Vazão de pico de 0,20 m<sup>3</sup>/s e o Volume de escoamento superficial direto de 312 m<sup>3</sup>.

Cabe lembrar que o objetivo do desenvolvimento de baixo impacto (LID) é garantir uma paisagem hidrológicamente funcional, apresentando comportamento bem próximo das condições naturais, ou seja, de pré-ocupação. Portanto, os parâmetros hidrológicos da situação de pré-ocupação serviram como base para projeto de desenvolvimento de baixo impacto, apresentado no capítulo 17.

## 16. Situação Urbanização convencional

Criada em 1960 e instituída como Universidade Federal, a UFSCar iniciou suas atividades somente em 1970. Após algumas tentativas frustradas na elaboração de planos para o desenvolvimento físico do campus, através de contratos com escritórios e empresas externas, a Universidade optou por criar, a partir de 1976, uma estrutura própria de planejamento físico e elaboração de projetos executivos dos edifícios, como também uma estrutura de execução de obras por administração direta. Em 1977 foram definidas as bases iniciais do crescimento da Universidade com o estabelecimento de tipologias funcionais e de um primeiro zoneamento das áreas acadêmicas e administrativas, que deram origem aos primeiros edifícios construídos no Setor Norte do campus (UFSCar, 2002).

A expansão física da UFSCar ocorreu tendo como base diretrizes estabelecidas em Planos Diretores elaborados em 1977 e 1985, e todas as ações para a definição de prioridades de expansão do espaço físico pautaram-se em diretrizes aprovadas nessas oportunidades.

O que se observa é que o desenvolvimento do Campus seguiu os padrões convencionais de urbanização. Não se tem planos reguladores de expansão, nem normas de uso e ocupação do solo. A expansão física se baseia em um Plano de Desenvolvimento Institucional (UFSCar, 2002), que estabelecem algumas diretrizes gerais de urbanização, desenvolvimento físico-ambiental, infraestrutura e edificações.

PAESE (1997) relata que desde a implantação da Universidade Federal de São Carlos em 1969 o processo de ocupação do "campus" foi resultante de aspectos internos e externos de decisão institucional, da disponibilidade de recursos financeiros e da ausência de políticas de ocupação bem definidas. Como resultado deste processo, atualmente podem ser identificadas duas áreas bem distintas quanto ao uso do solo: a não urbanizada, destinada em sua maior extensão à produção comercial de *Eucalyptus sp* e a urbanizada destinada ao desenvolvimento das atividades acadêmicas e administrativas da Universidade, viabilizadas por estruturas técnicas tipicamente urbanas.

O autor ainda ressalta que a análise da alteração dos padrões de cobertura do solo do "campus" da UFSCar na última década, e a identificação de

suas unidades da paisagem (biótopos) revelaram a necessidade da integração destas duas áreas, tendo em vista as oportunidades de pesquisa e educação que oferecem e suas potencialidades para a manutenção da biodiversidade no contexto desta paisagem no âmbito regional do Estado de São Paulo, onde as formações de cerrado encontram-se reduzidas a 1,17% de sua cobertura original.

Para ocupação, as áreas de cobertura vegetal foram removidas e cederam espaço às edificações, ao sistema viário e a extensos gramados.

Nas Figuras 46 e 47 é possível visualizar a atual ocupação da área de estudo, o desenho urbano, as áreas verdes, as edificações e a infra-estrutura de drenagem existente, fruto de um desenvolvimento urbano baseado em processos convencionais de planejamento.

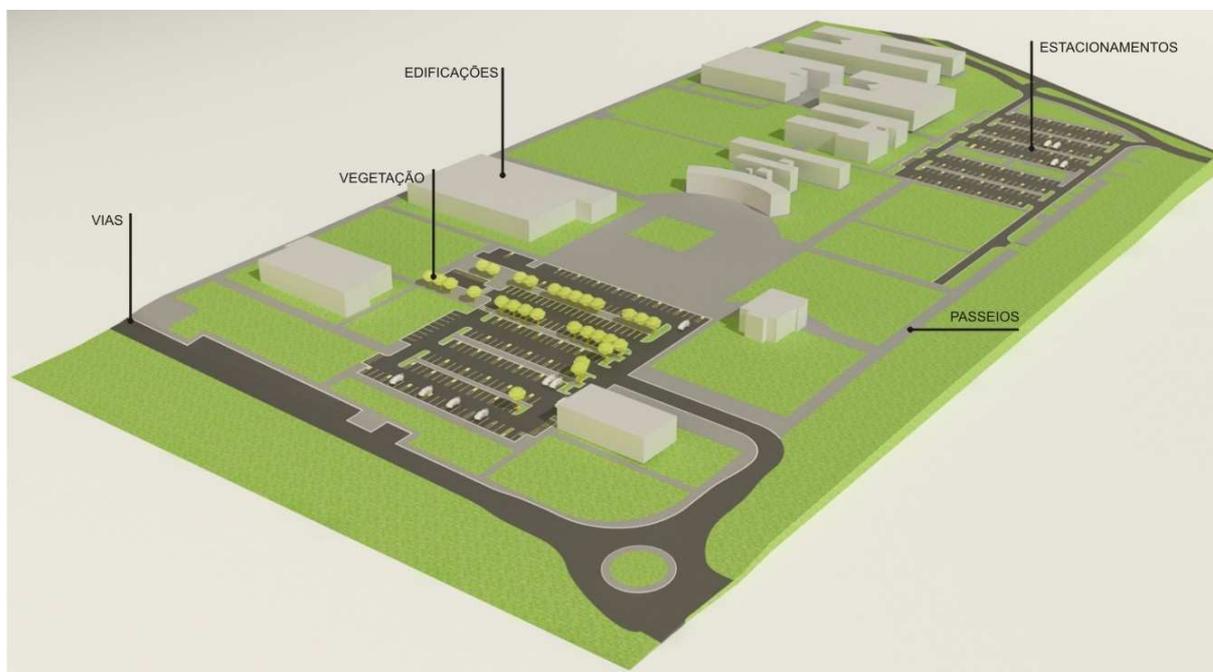


FIGURA 46 – Perspectiva da ocupação convencional da área de estudo (software AutoCAD 2008).

Fonte: TAVANTI, 2009.

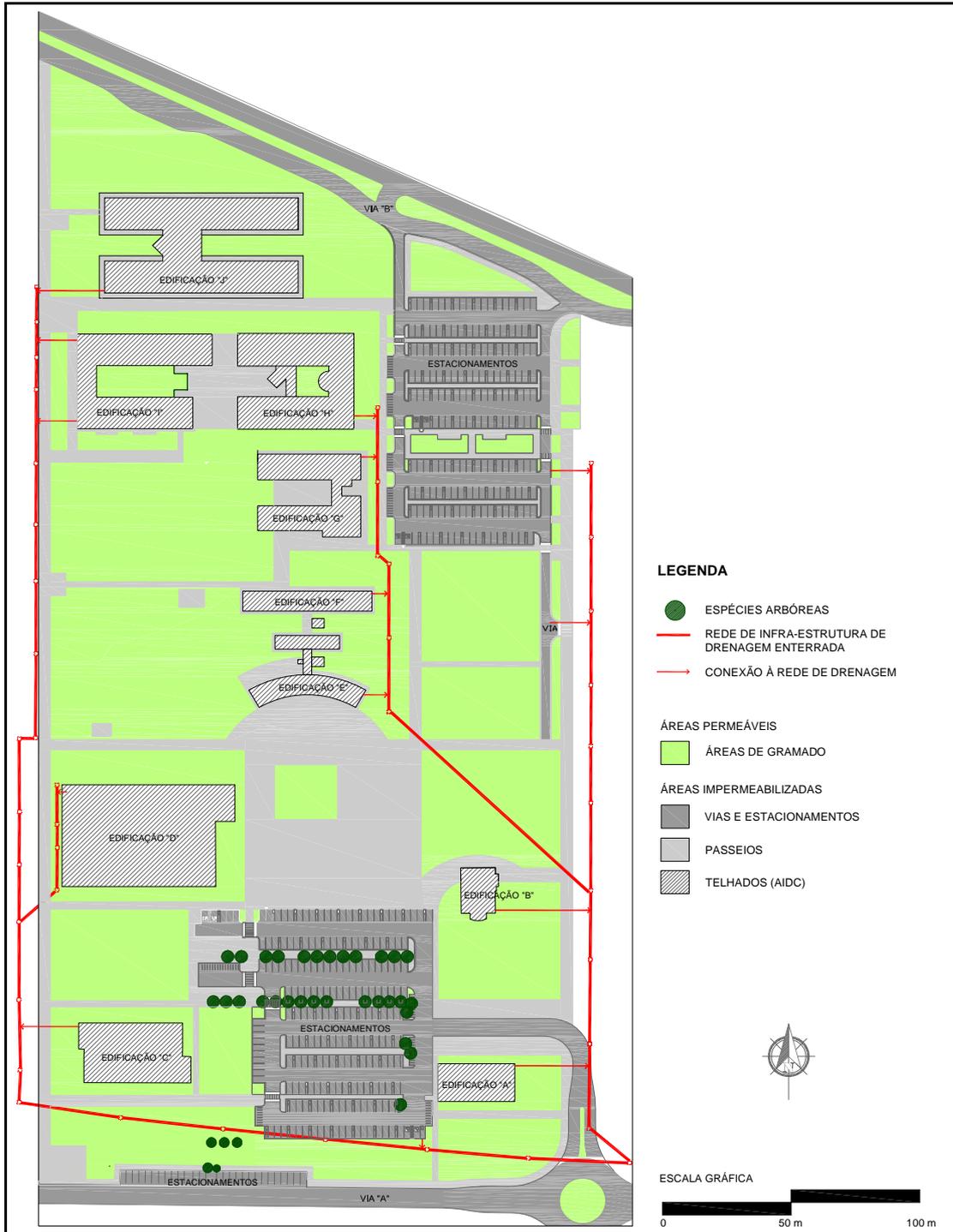


FIGURA 47 – Ocupação convencional da área de estudo.

Na área encontram-se duas vias de duplo sentido de fluxo, com largura aproximada de 8,0 metros (Figuras 48 e 49), e com intersecções centrais. Vias mais estreitas conduzem às áreas de estacionamentos. Todas as vias são pavimentadas com asfalto.



FIGURA 48 – Vias típicas da área de estudo.  
Fonte: TAVANTI, 2009.



FIGURA 49 – Vias típicas da área de estudo.  
Fonte: TAVANTI, 2009.

Analisando o uso do solo, nota-se que predominam os prédios Institucionais (térreos, gabarito 2 e 3), vias para tráfego de veículos, áreas de estacionamentos e passeios destinados a pedestres, com larguras variáveis de 2,0 a 3,0 metros (Figura 50 e 51).



FIGURA 50 - Passeio típico existente, em concreto.  
Fonte: TAVANTI, 2009.



FIGURA 51 - Passeio típico existente, em concreto.  
Fonte: TAVANTI, 2009.

A verticalização das edificações (Figuras 52 e 53) garante que seja menor a taxa de ocupação da área, em torno de 12%. No entanto, foi constatado que, a área encontra-se impermeabilizada através de asfaltos e pisos de concreto para atender ao sistema viário, estacionamentos (Figuras 54 e 55) e passeios.



FIGURA 52 - Edificação existente no Campus.  
Fonte: TAVANTI, 2009.



FIGURA 53 - Edificação existente no Campus.  
Fonte: TAVANTI, 2009.



FIGURA 54 - Estacionamento padrão implantado na área (estacionamento A).  
Fonte: TAVANTI, 2009.



FIGURA 55 – Via e estacionamento padrão implantado na área (estacionamento A).  
Fonte: TAVANTI, 2009.

Nessa condição de urbanização, utiliza-se do sistema de drenagem convencional, composto por uma estrutura de microdrenagem (sarjetas, sarjetões, bocas de lobo, poços de visita e galerias), como ilustrado na Figura 47. As bocas-de-lobo conduzem as vazões superficiais para as tubulações da galeria de águas pluviais, de diâmetro variando de 400 a 800 mm.

Os sistemas de coleta de águas pluviais das edificações (telhados) e dos estacionamentos estão conectados diretamente à rede de microdrenagem, como ilustrado na Figura 47.

Considerando as características descritas, os parâmetros foram então quantificados para a condição de urbanização convencional (tabela 13).

TABELA 13 – Quantificação de parâmetros para a situação de urbanização convencional.

Aspectos	Parâmetros	Pré-ocupação	Urbanização convencional	
Urbanísticos	Áreas permeáveis (m <sup>2</sup> )	Áreas Verdes (m <sup>2</sup> )	89.500	38.668
		Área em projeção da técnica compensatória (m <sup>2</sup> )	0	0
	Áreas Impermeabilizadas (m <sup>2</sup> )	Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0	19.767
		Áreas de passeios (m <sup>2</sup> )	0	20.050
		Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0	11.011
	Área Impermeável Diretamente Conectada (m <sup>2</sup> )	Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0	11.011
		Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0	19.767
	Área Impermeável Não Conectada (m <sup>2</sup> )	Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0	0
		Áreas de passeios (m <sup>2</sup> )	0	20.050
		Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0	0
	Taxa de ocupação (%)		0	12
	Infra-estrutura de drenagem enterrada (m)		0	1.254
	Técnicas compensatórias (m <sup>3</sup> )		0	0
Ambientais	Área de Cobertura vegetal (m <sup>2</sup> )		89.500	0
	Área de gramados (m <sup>2</sup> )		0	38.668
	Risco de poluição de água subterrânea		NÃO	NÃO
	Risco de poluição de água com finos e outros poluentes		NÃO	SIM
	Risco sanitário		NÃO	NÃO
Hidrológicos	Tempo de retorno (anos)		10	10
	Tempo de concentração (min)		26,07	10,54
	Volume de escoamento superficial direto (m <sup>3</sup> )		312,00	1.074,00
	Intensidade (mm/min)		1,34	2,06
	Coeficiente de escoamento superficial (C) ponderado		0,10	0,55
	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)		0,20	1,70
	Volume de armazenamento para área (m <sup>3</sup> )		0	977,00
	Volume de armazenamento para desconexão de AIDC (m <sup>3</sup> )		0	0

Analisando os dados da Tabela 13, nota-se que, 57% do total da área, ou seja, 5,08 ha são de áreas impermeabilizadas (vias, estacionamentos, passeios e edifícios); as áreas permeáveis (áreas de gramados) correspondem a 43% da área total, ou seja, 3,86 ha, conforme ilustrado na Figura 56.

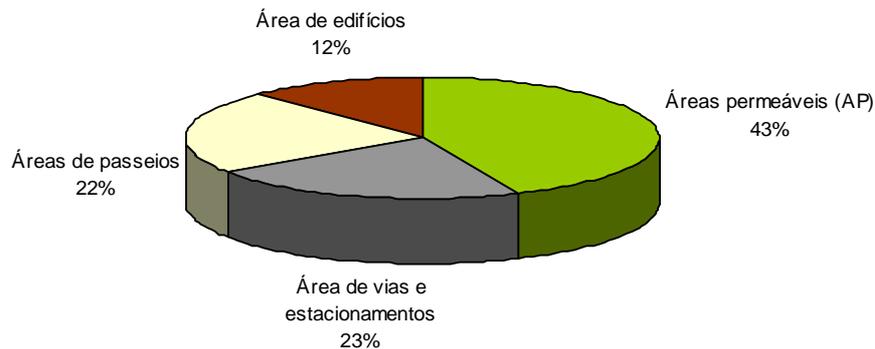


FIGURA 56 – Parâmetros urbanísticos da condição de urbanização convencional.

Cabe ressaltar que, para essa condição de desenvolvimento não existem áreas de cobertura vegetal, pois as mesmas foram removidas na urbanização, cedendo lugar às edificações, ao sistema viário e a extensos gramados. Assim, o coeficiente de escoamento superficial (C) ponderado é 0,55, definido a partir da Tabela 14, conforme características das superfícies.

TABELA 14 – Coeficientes de escoamento superficial para diferentes superfícies da condição de urbanização convencional.

Tipo superfície	Área (ha)	C
Gramados	3,87	0,2
Pavimentada (vias, estacionamentos e passeios)	3,98	0,8
Telhados das edificações	1,10	0,9
<b>TOTAL</b>	<b>8,95</b>	
<b>C ponderado</b>		<b>0,55</b>

Para um período de retorno de 10 anos, tem-se um tempo de concentração (tc) de 10,54 minutos, Intensidade de 2,06 mm/min, Vazão de pico de 1,70 m<sup>3</sup>/s e um Volume de escoamento superficial direto de 1.074 m<sup>3</sup>, pelas equações 3 e 4, respectivamente.

Ainda em análise aos parâmetros ambientais (Tabela 13), nota-se que não há risco de poluição das águas e dos solos na condição de urbanização convencional, em função da espessura da camada do solo e a da permeabilidade do solo local, que tornam o aquífero menos vulnerável à poluição; bem como, em função do tipo de ocupação (telhados, caminhos para pedestres, vias e estacionamentos), por se tratar de área com lençol sem importância para o abastecimento.

Considerando que os solos encontram-se expostos ou cobertos apenas por gramíneas, e durante a execução de obras não há uma preocupação com movimentação de terra, julga-se haver problemas de águas com finos para a condição de urbanização convencional. Na Figura 57 é possível observar o carreamento de sedimentos pelas sarjetas até as bocas de lobo (Figura 58); por consequência, esses sedimentos são conduzidos superficialmente ou pelas galerias de águas pluviais até o Rio do Monjolinho, causando assoreamento do mesmo.



FIGURA 57 - Sistema de microdrenagem implantado – carreamento de sedimentos pelas sarjetas.

Fonte: TAVANTI, 2009.



FIGURA 58 - Carreamento de sedimentos pelas sarjetas.

Fonte: TAVANTI, 2009.

Tendo em vista que as estruturas de drenagem são enterradas (galerias), não há risco sanitário em função da estagnação de água para essa condição de desenvolvimento.

Diante das condições apresentadas pela urbanização convencional, conclui-se que novas estratégias de planejamento são essenciais para enfrentar os desafios da gestão das águas pluviais no ambiente urbano. As técnicas contidas no capítulo 17 são propostas com uma abordagem em gestão, visando a redução dos impactos ambientais, bem como o controle da drenagem.

## **17. Proposta de Urbanização de Baixo Impacto**

As estratégias de LID foram simuladas em uma área do Campus da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos), com condições de solo e chuva da cidade de São Carlos, com o objetivo de analisar suas vantagens e desvantagens com relação às práticas convencionais de urbanização.

O projeto para a área foi desenvolvido visando reduzir as superfícies impermeáveis e aumentar a disponibilidade de espaços livres, a fim de preservar as características naturais do local. Com as estratégias utilizadas para a redução da impermeabilidade, combinadas a opções de desenhos que protegem os recursos naturais, o plano resultante fornecerá um meio eficaz para resolver a drenagem diretamente na fonte. Plano, nesse caso, inclui um desenho preliminar para identificar a localização das práticas de drenagem.

O que se busca com o desenvolvimento desse projeto, é que a drenagem desta área deve possuir uma vazão máxima de saída igual ou menor que a vazão máxima de pré-desenvolvimento. As etapas a seguir demonstram o desenvolvimento da área através de técnicas de baixo impacto (LID).

### **17.1. Análise dos aspectos legais e normativos**

Em análise às legislações e normas pertinentes, notou-se que as esferas Federal e Estadual dispõem apenas de instrumentos legais que podem conduzir ao seu uso, objetivando o controle de escoamentos, a redução da poluição difusa e a proteção dos recursos naturais, conforme analisado no capítulo 8.

Para desenvolvimento da área de estudo, não se têm instrumentos e normas em que se amparar para desenvolvimento de projeto, por se tratar de uma área institucional Federal. Também não existe uma base regulamentar específica sobre técnicas sustentáveis de drenagem pluvial.

Em nível municipal, tem-se a Lei nº 6.871 de 1º de dezembro de 1971, que define o zoneamento do município de São Carlos e os perímetros das áreas urbanas, no entanto, refere-se às áreas contida dentro do perímetro urbano do município de São Carlos, desconsiderando portanto, a área do Campus da UFSCar.

Merece destaque também a Lei Municipal nº 13.691 de 2005, que institui o Plano Diretor do Município de São Carlos, mas não estabelece diretrizes para o desenvolvimento urbano do Campus.

Quanto aos aspectos relacionados à drenagem das águas pluviais, o município dispõe da Lei nº 13.246 de 2003, que trata da construção de reservatórios de detenção ou retenção de águas no município de São Carlos; especifica que os conjuntos habitacionais, áreas comerciais e industriais, loteamentos ou parcelamentos em áreas urbanas, com área superior a um hectare a serem aprovados pela Municipalidade, deverão apresentar estudo de viabilidade técnica e financeira para a construção de reservatório de detenção ou retenção para prevenir inundações. O art. 6º da lei estabelece que nos reservatórios de detenção ou retenção cobertos, a área superior poderá ser aproveitada para jardins, campos de esporte, ou outro embelezamento. A água da chuva contida no reservatório de detenção ou retenção poderá ser reutilizada para regar jardins, lavagem de passeio, utilizada como água industrial, ou nas descargas sanitárias.

O município de São Carlos conta também com a lei nº 10.715 de 10 de novembro de 1993, cria o Sistema de Arborização Urbana no município. No artigo 3º, define que o Poder Público através do órgão competente procederá ao plantio de árvores nos locais solicitados por munícipes ou naqueles que consideram adequado e necessário, observando as espécies indicadas. A lei especifica ainda as espécies indicadas para plantio, adequadas para ornamentação e composição paisagística.

A lei nº 13.332 de 27 de maio de 2004 dispõe sobre a obrigatoriedade de arborização de vias e áreas verdes nos planos de parcelamento do solo para loteamentos e desmembramentos. O art. 1º esclarece que a aprovação do projeto de parcelamento do solo fica condicionada à arborização das vias e das áreas verdes do empreendimento. A arborização das vias se fará com árvores espaçadas longitudinalmente de, no máximo 10 metros uma da outra; e as mudas plantadas deverão ter, no mínimo, 1,5 metros de altura e 5,0 cm de diâmetro na base.

Portanto, para etapa de projeto utilizou-se como parâmetro as leis Federais e Estaduais analisadas no capítulo 8, e as leis Municipais supracitadas.

## **17.2. Análise das condições de desenvolvimento e áreas protegidas**

Em atendimento à metodologia proposta, nessa etapa, foram observadas as características topográficas (Figura 59), e demais características naturais do local, utilizadas como condicionantes de projeto, visando conservar as condições de pré-desenvolvimento da área.

Como as áreas de cobertura vegetal foram removidas na condição de urbanização convencional, para ceder lugar às edificações e ao sistema viário, não existem áreas de cobertura vegetal a serem protegidas. Assim, para a condição LID, essas áreas de cobertura vegetal são recriadas, conforme descrito no item 17.4.

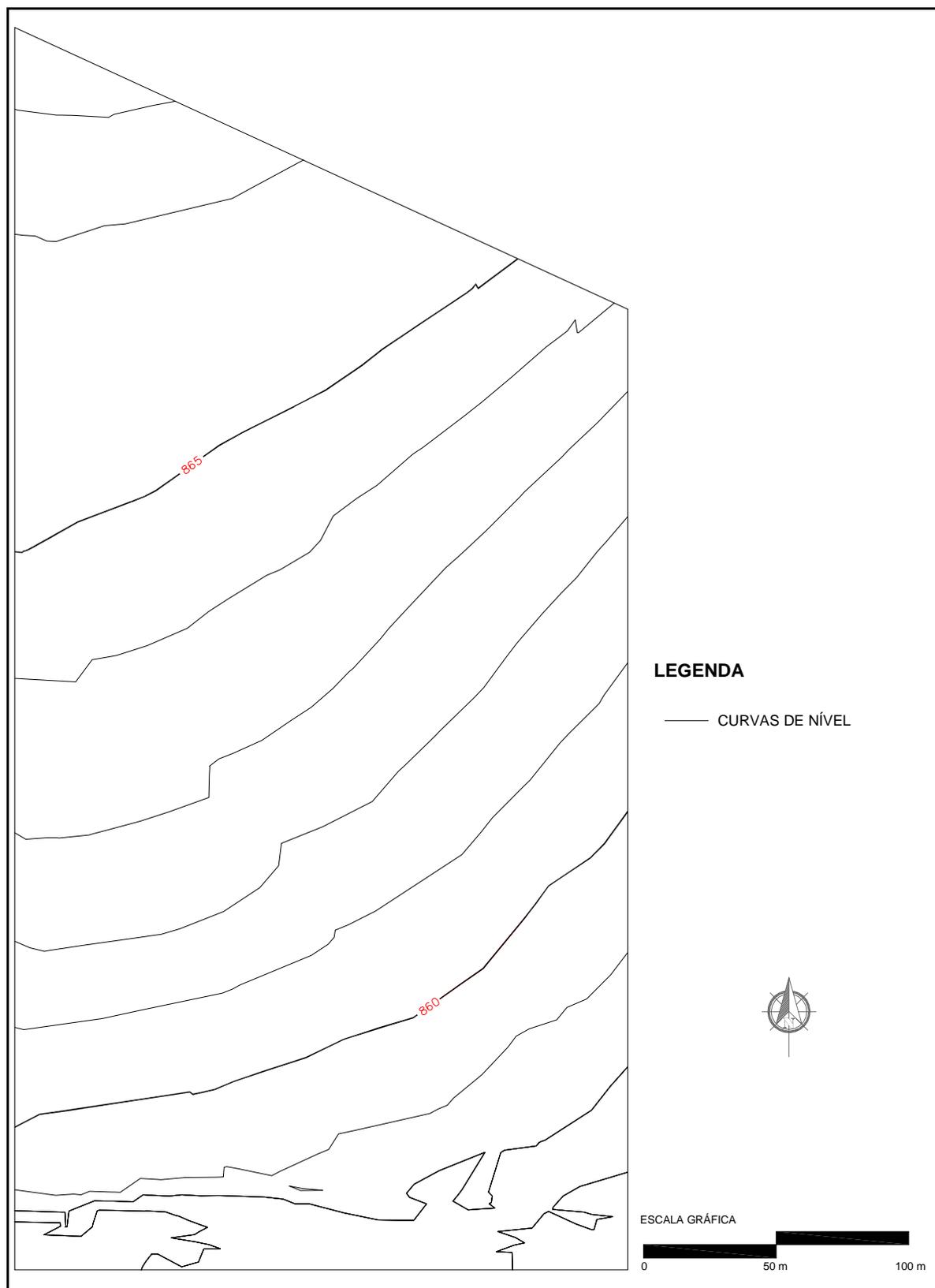


FIGURA 59 – Topografia da área.

### 17.3. Movimentação de terra

A área de projeto tem 8,95 ha. O terreno é relativamente plano, com declividade de 2,5%, conforme perfil esquemático apresentado na figura 60.

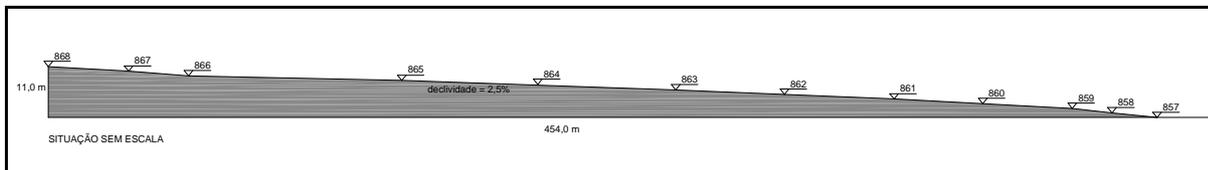


FIGURA 60 – Perfil longitudinal da área de projeto.

Para a condição de desenvolvimento de baixo impacto, optou-se por considerar em projeto as edificações já implantadas na condição de urbanização convencional (Figura 61), pois as mesmas não se encontram em zonas sensíveis (próximas a córrego, várzeas ou em áreas de cobertura vegetal) e não houve excessos de movimentação de terra com corte e aterros na implantação das edificações.

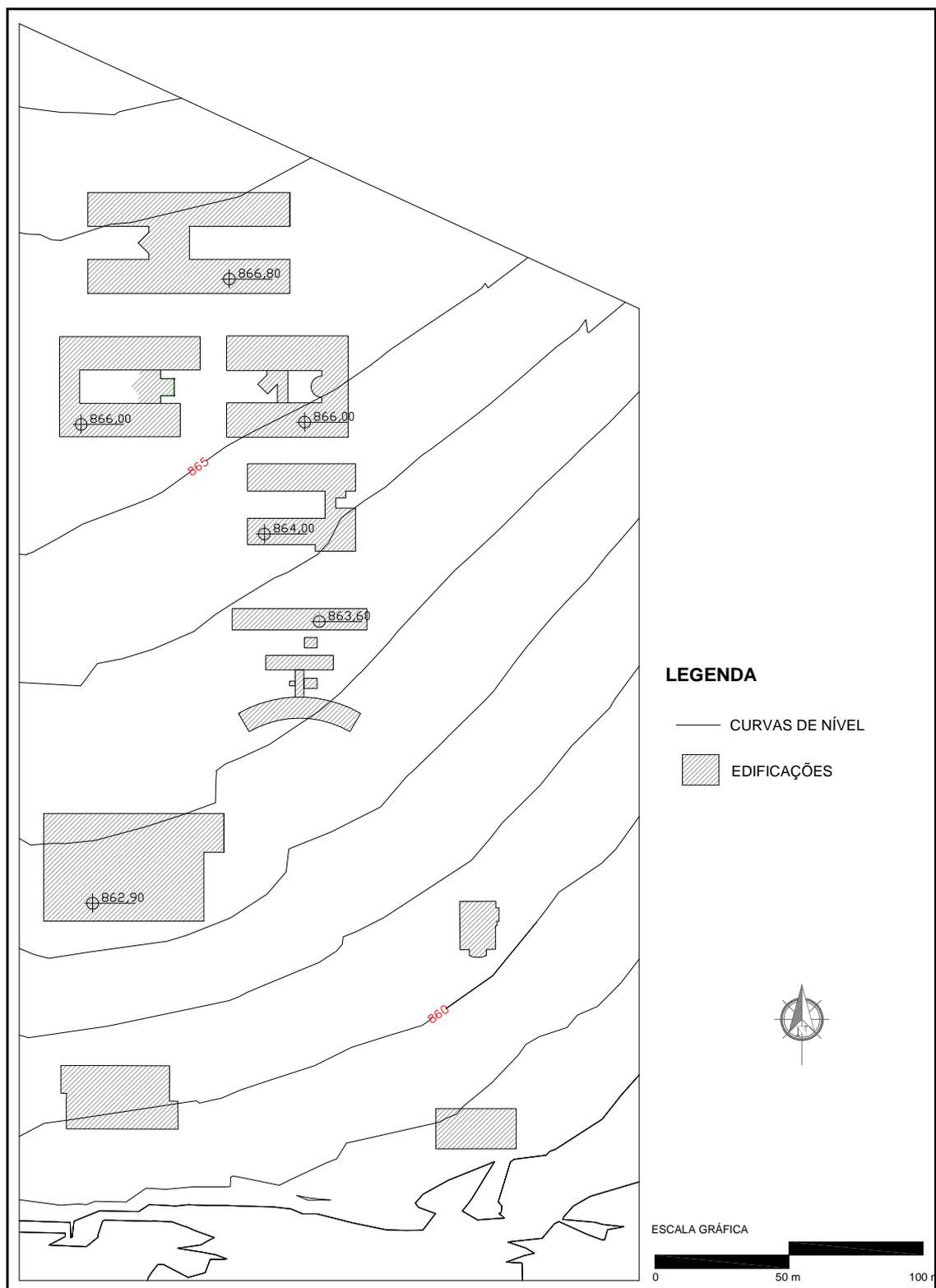


FIGURA 61 – Implantação das edificações.

#### **17.4. Criação das digitais locais**

Considerando que a área teve suas características naturais completamente alteradas em função de um desenvolvimento urbano convencional, não se tem muitas características naturais a serem preservadas.

O que se buscou no desenvolvimento do projeto foi restringir qualquer tipo de alteração nas condições naturais ainda existentes.

As digitais locais foram recriadas no projeto de desenvolvimento de baixo impacto, através da recomposição da cobertura vegetal, como forma de minimizar os impactos hidrológicos.

O projeto paisagístico proposto para a área abrange, basicamente, a criação de agrupamentos arbóreos maciços e a arborização dos passeios, vias e estacionamentos (Figura 62).

Procurou-se criar o sombreamento dos espaços, além da criação de um dinamismo na paisagem, priorizando-se a utilização de espécies de uso tradicional na cidade, que enfatizassem as floradas que caracterizam as mudanças sazonais, com a presença, entre outras, de Jacarandá, Ipê amarelo, Pau ferro, Guariroba e Quaresmeira.

É importante ressaltar que para execução, deverá ser desenvolvido projeto paisagístico executivo, com distâncias de plantio, quantificação de espécies e demais exigências necessárias.

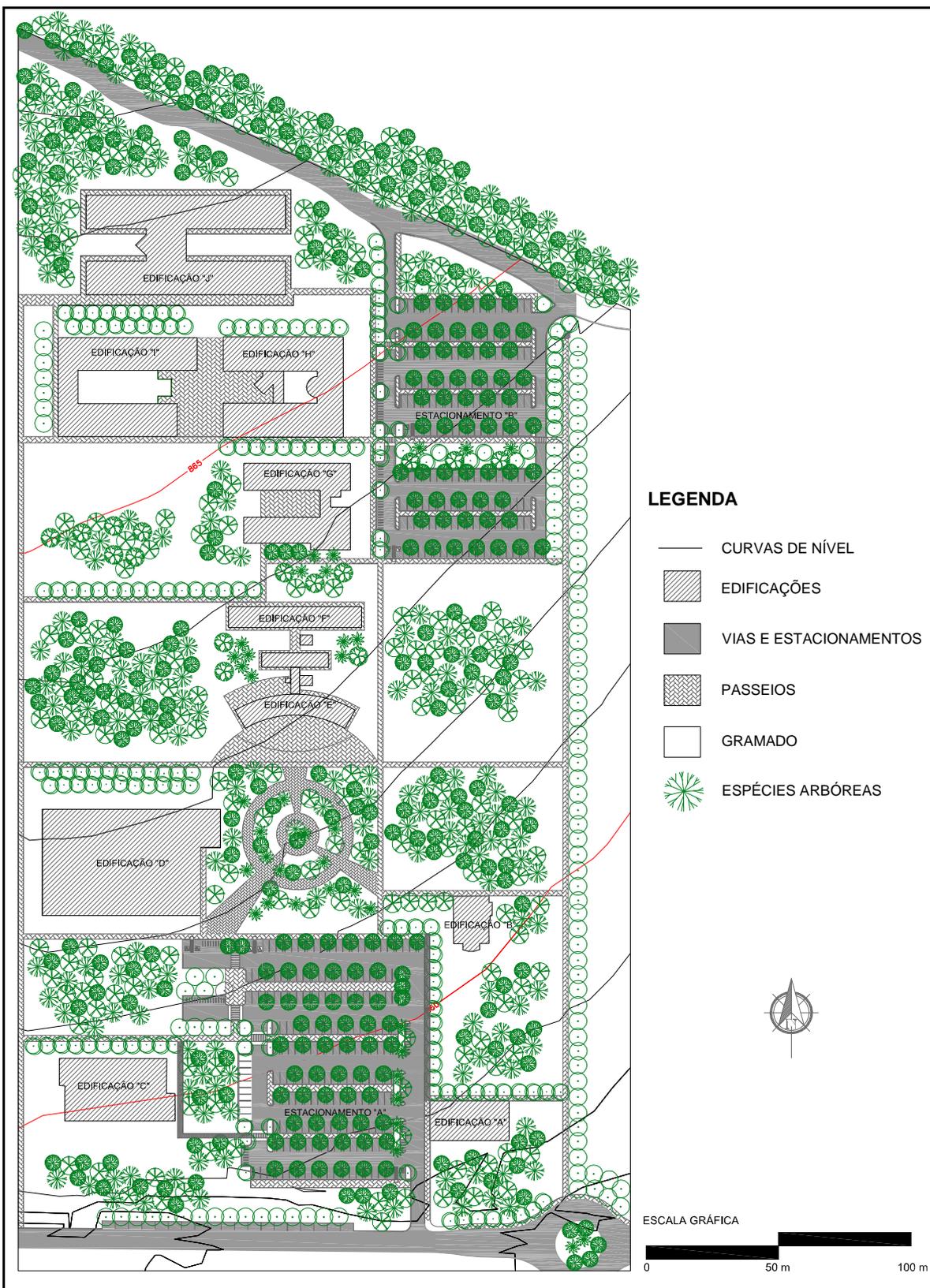


FIGURA 62 – Implantação com localização de maciços de vegetação.

### 17.5. Utilização da drenagem/hidrologia como elemento de projeto

Uma das mais importantes etapas do desenvolvimento de baixo impacto, talvez seja, utilizar da hidrologia como elemento de projeto. Somente avaliando e compreendendo a hidrologia local, é que foi possível criar a paisagem hidrologicamente funcional.

Para isso, foram auferidos os parâmetros hidrológicos da condição de pré-ocupação. Adotou-se para essa condição de baixo impacto, o mesmo coeficiente de velocidade ( $C_v = 0,210$ ), obtendo-se o mesmo  $t_c$  da condição de pré-ocupação. Isso é possível porque se restaurou a cobertura vegetal, ainda que em outros padrões, e as áreas impermeabilizadas serão desconectadas para as IMPs.

O comportamento hidrológico obtido através do Método Racional, para as condições naturais (pré-ocupação) foram:

- ✓  $t_c = 26,07$  min;
- ✓ Intensidade =  $1,34$  mm/min;
- ✓ Coeficiente de escoamento superficial (C) ponderado =  $0,10$ ;
- ✓ Vazão de pico =  $0,20$  m<sup>3</sup>/s;
- ✓ Volume de escoamento superficial direto =  $312$  m<sup>3</sup>.

Tais parâmetros permitirão buscar na condição de desenvolvimento de baixo impacto, um comportamento bem próximo do natural para os critérios volume, vazão de pico e tempo de concentração.

Buscando atingir os objetivos de LID, propõe-se a utilização de sistema aberto de drenagem (canais superficiais), em que se trabalha com as formas naturais, adaptadas à topografia. O sistema aberto de drenagem é um importante elemento de desenho, pois permite um desenvolvimento integral, garantindo uma relação esteticamente mais agradável com os recursos naturais da área.

Essa proposta de drenagem urbana ajuda a integrar formas, dando ao traçado da área, um aspecto esteticamente mais agradável em relação às características naturais do local, minimizando custos de terraplanagem e evitando a construção de estruturas de drenagem onerosas.

No item 17.9 realizou-se o dimensionamento dos canais superficiais de drenagem.

## 17.6. Estratégias para redução de Áreas impermeáveis

Algumas técnicas foram incorporadas ao desenho para reduzir o volume de escoamento total de superfícies impermeáveis. A proposta é manter as funções de circulação, garantindo segurança veicular e ao pedestre, e ao mesmo tempo, reduzir extensões de superfícies impermeáveis, responsáveis por alterar as condições hidrológicas do local e degradar a qualidade da água.

As vias permaneceram com a mesma largura, pois está aceitável para o projeto de baixo impacto. Foi proposta a redução da via próxima à edificação J, como forma de minimização das áreas impermeáveis, considerando não haver alterações significativas ao tráfego local (Figura 63).

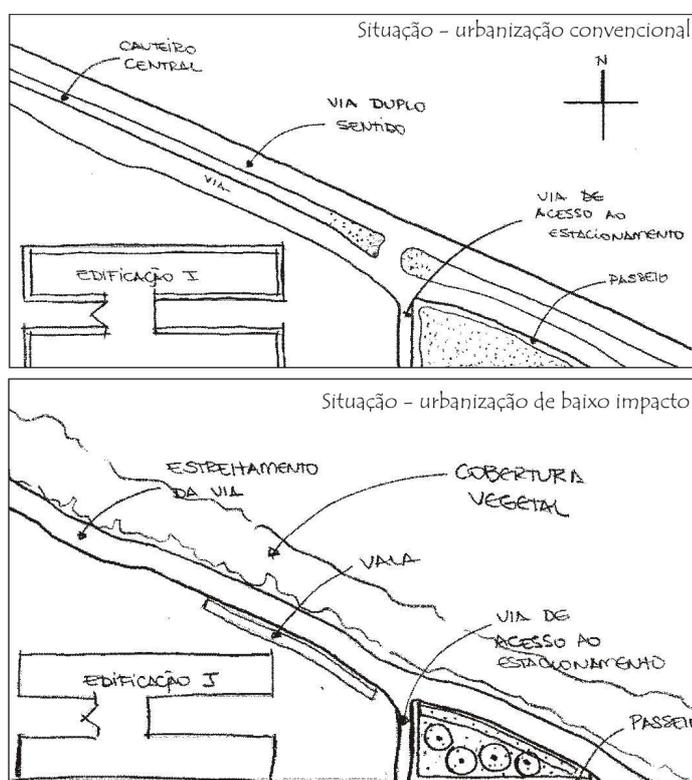


FIGURA 63 – Estratégias de redução de áreas impermeáveis, em relação à urbanização convencional.

Optou-se por não alterar o desenho dos passeios da urbanização convencional, pelo fato dos mesmos já estarem implantados, permanecendo com 2,0 metros de largura. Próximos às vias, os passeios foram implantados em apenas um dos lados das mesmas, com uma largura de 2,0 metros (Figura 64). Essas considerações contribuem significativamente para a redução do escoamento superficial.

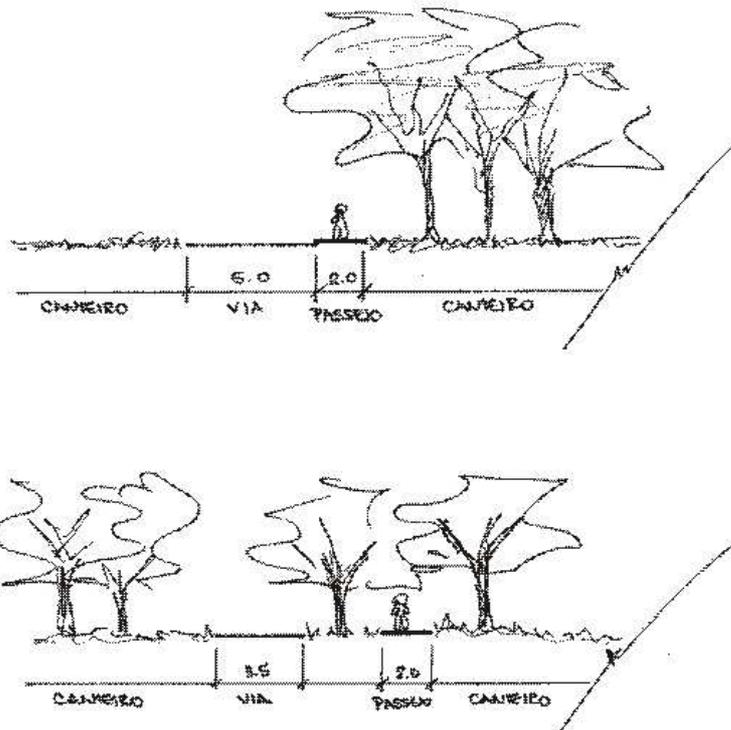


FIGURA 64 – Passeio proposto para redução de áreas impermeáveis.

### 17.7. Planejamento integrado preliminar

Após definir o desenho da área e minimizar as áreas impermeáveis, é possível comparar as condições de pré e pós-desenvolvimento, sob os aspectos urbanísticos, ambientais e hidrológicos. Assim, fica confirmada a criação da paisagem hidrológica funcional.

Os procedimentos para a realização desta análise e para completar o planejamento do local são descritos nos itens a seguir. Esses procedimentos visam desconectar áreas impermeáveis inevitáveis, bem como utilizar de técnicas para alterar os caminhos de fluxo para que o tempo de concentração de pós-desenvolvimento possa ser mantido o mais próximo possível das condições de pré-desenvolvimento.

### 17.8. Estratégias para minimizar áreas impermeáveis diretamente conectadas

Visando minimizar áreas impermeáveis diretamente conectadas (AIDC), as estratégias adotadas em projeto foram: desconexão dos telhados das edificações, o escoamento raso de superfície para áreas vegetadas, além de direcionar os fluxos das áreas pavimentadas para as áreas vegetadas estabilizadas (Figura 65).

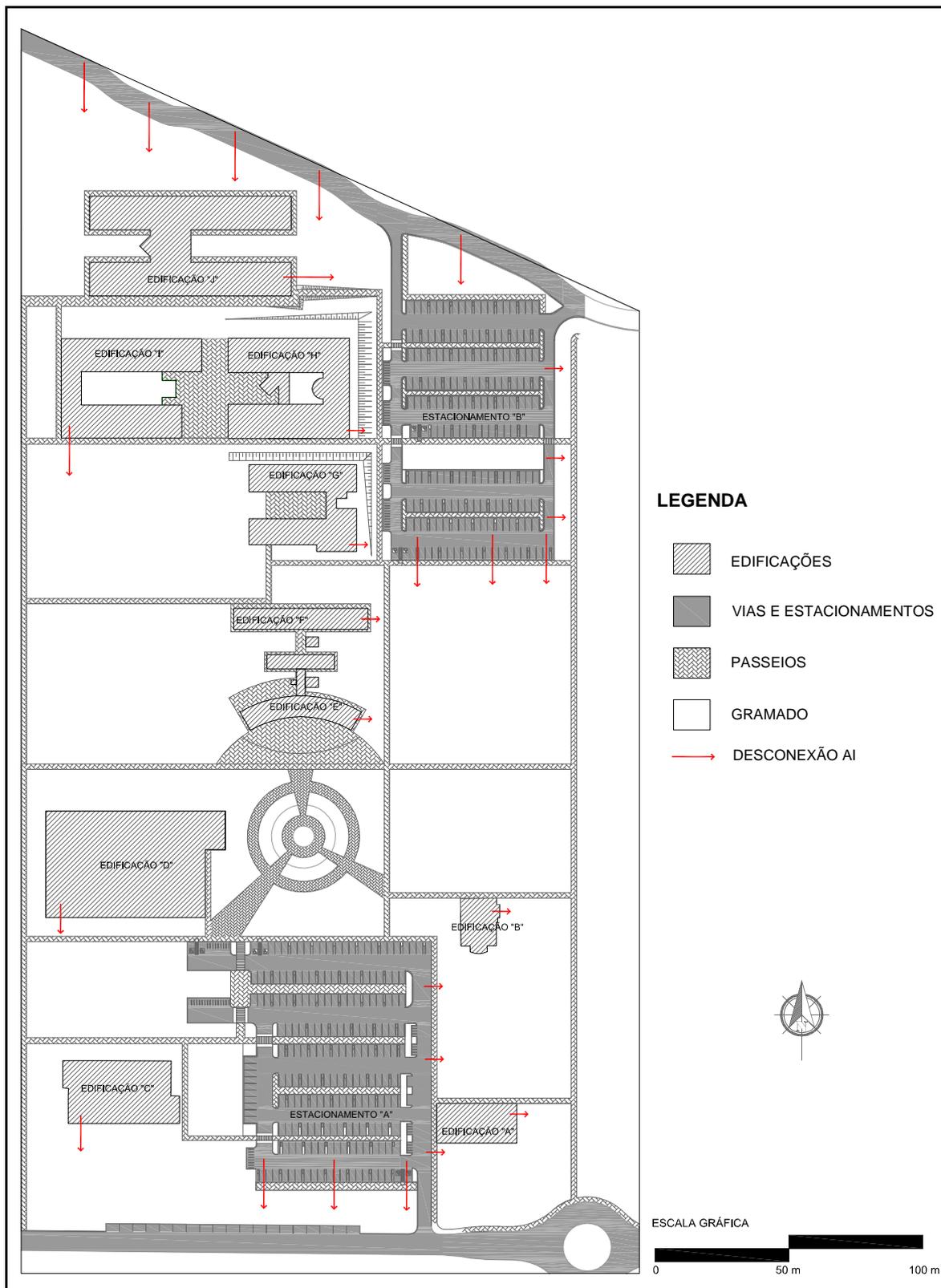


FIGURA 65 – Desconexão das áreas impermeáveis.

A Figura 66 representa um perfil esquemático de desconexão de telhado e escoamento raso em superfície, através de canal gramado.

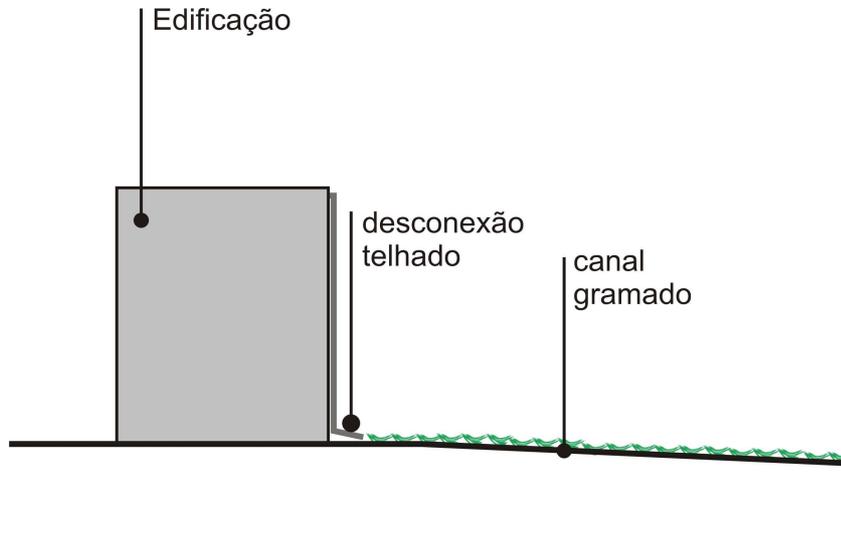


FIGURA 66 – Perfil esquemático de desconexão de telhado.

As vias dos estacionamentos foram desconectadas, eliminou-se o meio fio e o fluxo foi direcionado para as áreas de vegetação (Figura 67 e 68).

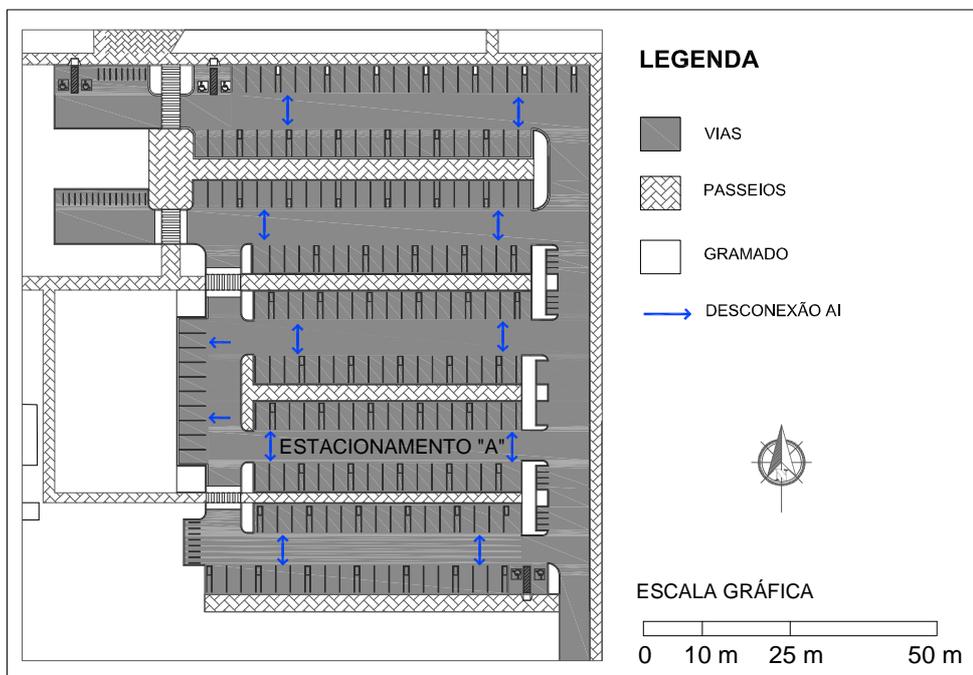


FIGURA 67 – Desconexão das áreas impermeáveis do estacionamento A.

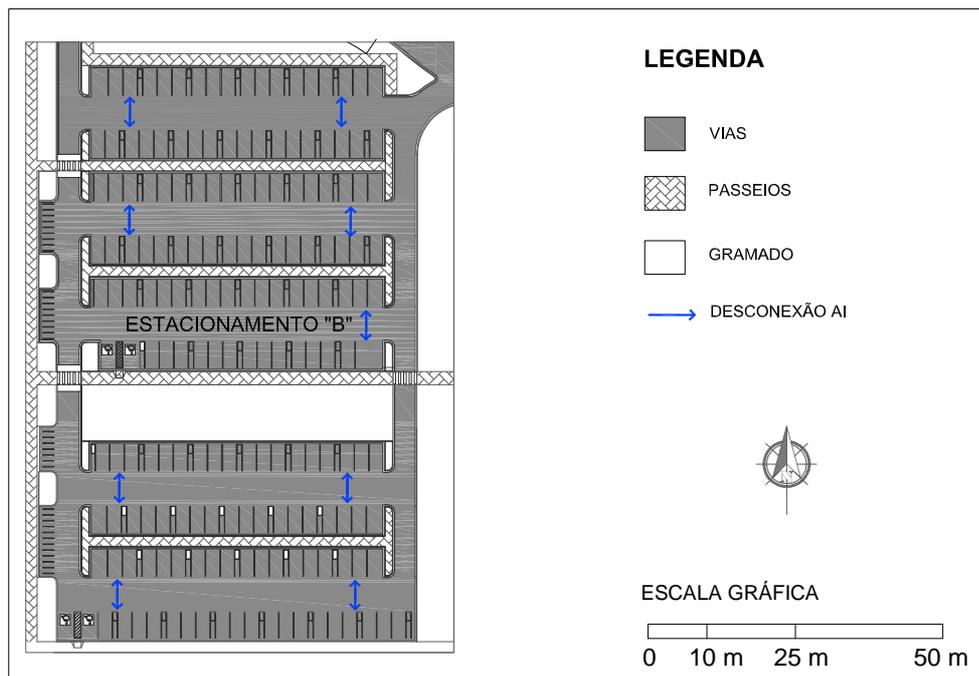


FIGURA 68 – Desconexão das áreas impermeáveis do estacionamento B.

Utilizou-se de técnicas capazes de modificar os caminhos de fluxo de pós-desenvolvimento, para que o tempo de concentração possa ser mantido o mais próximo possível das condições de pré-desenvolvimento, conforme descrito nas etapas a seguir.

### 17.9. Estratégias para aumentar os caminhos de fluxos

Para alterar e controlar a duração do escoamento e da vazão de pico, optou-se por maximizar o fluxo raso de superfície, criando caminhos de fluxo e maximizando o uso de sistemas de canais naturais abertos.

Uma das estratégias adotadas foi aumentar as áreas de cobertura vegetal, criando rugosidade adicional e retenção, de forma a aumentar o tempo de escoamento, reduzindo o volume escoado e a vazão de pico.

As águas provenientes dos telhados das edificações foram direcionadas à canais abertos gramados, dimensionados com seção trapezoidal de 0,2 m de profundidade e 1,0 m de base superior, que funcionam como filtro na remoção de poluentes, a fim de aumentar infiltração e tempo de escoamento. A Figura 69 ilustra a utilização de canais naturais abertos para escoamento das águas pluviais.

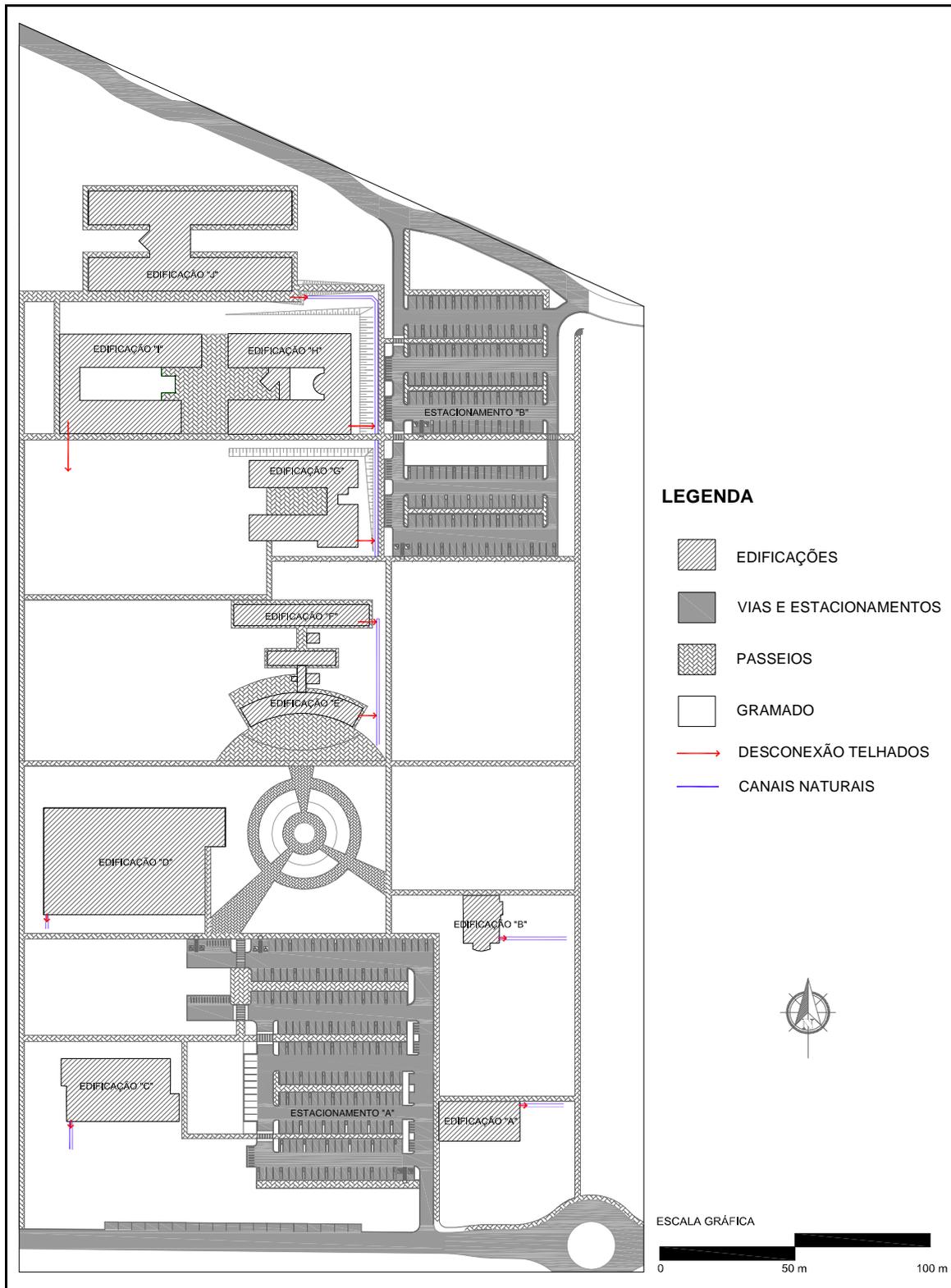


FIGURA 69 – Implantação com localização de canais naturais de drenagem.

As águas escoadas pelos canais abertos serão direcionadas para estruturas que se adaptam às condições da área, conforme capítulo 17.11.

### 17.10. Comparação da hidrologia de pré e pós-desenvolvimento com LID

Nesta fase do processo de planejamento de baixo impacto já se concluiu a maior parte do trabalho de desenvolvimento do local. Portanto, utilizando-se da metodologia proposta, foi possível comparar os aspectos hidrológicos de pré e pós-desenvolvimento com técnicas de LID.

Nos hidrogramas apresentados na Figura 70 pode-se observar que houve uma redução significativa de  $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$  da vazão de pico, e  $227 \text{ m}^3$  do volume de pós-desenvolvimento, alcançado apenas usando técnicas de LID, sem o benefício do uso de IMP.

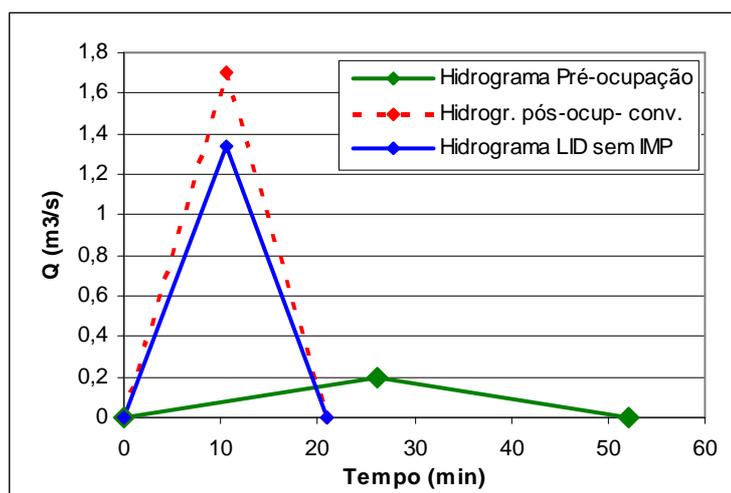


FIGURA 70 – Comportamento hidrológico de pré-ocupação, urbanização convencional e pós-ocupação com estratégias de LID, sem IMP.

No entanto, ainda não se atingiram condições satisfatórias de pré-desenvolvimento; sendo necessário, conforme estratégias de planejamento de LID propostas por Prince George`s County (1999), complementar o planejamento local.

### 17.11. Controles adicionais para completar planejamento local de LID

Com base nos resultados apresentados no item anterior, notou-se a necessidade por controles adicionais, através do uso de IMP.

Em atendimento à metodologia, e considerando os potenciais e as restrições da área, durante o processo de planejamento integrado buscou-se adotar técnicas que atendem aos requisitos e implicações pertinentes da área, visando a integração das técnicas ao tecido urbano.

Para análise da viabilidade das IMP que melhor se adaptam às condições da área, utilizou-se de metodologia proposta por *Baptista et al.* (2005), conforme Tabela 10, apresentada no capítulo 14, considerando os aspectos físicos (topografia do local, capacidade de infiltração do solo, nível do lençol freático), os aspectos urbanísticos e de infra-estrutura (disponibilidade de espaço, inclinação e forma dos telhados e redes de infra-estrutura existentes), além dos aspectos sanitários, ambientais e socioeconômicos.

As técnicas utilizadas no projeto para complementar o planejamento local de LID, são: valas de infiltração, trincheira de infiltração e pavimentos permeáveis. Na Tabela 15 encontram-se os resultados do pré-dimensionamento das técnicas propostas.

Cabe ressaltar que não foram realizados os ensaios de campo recomendados, portanto, os valores de K são estimativos.

TABELA 15 – Dimensionamento de IMP necessárias.

Nome da Área conectada	AIDC (m <sup>2</sup> )	C adimensional (AIDC)	A permeável (m <sup>2</sup> )	C adimensional (permeável)	IMP escolhida	Dimensão IMP (m) (l x c x p)	D (min)	Altura chuva* (mm)	K (m/s)	Volume de água a armazenar (m <sup>3</sup> )
<b>Prédio A</b>	450,00	0,9		0,2	Vala gramada	2,5 x 35,0 x 0,3	60	38,80	0,00001	16,48
<b>Prédio B</b>	260,00	0,9		0,2	Vala gramada	2,0 x 36,0 x 0,2	60	36,60	0,00001	9,88
<b>Prédio C</b>	962,70	0,9		0,2	Vala gramada	3,0 x 51,0 x 0,4	120	41,10	0,00001	36,31
<b>Prédio D</b>	2.513,20	0,9		0,2	Vala gramada	3,2 x 125,0 x 0,35	120	40,90	0,00001	94,81
<b>Prédio EF</b>	931,20	0,9		0,2	Vala gramada	3,0 x 53,0 x 0,4	120	41,00	0,00001	37,48
<b>Prédio GHJ</b>	4.435,20	0,9		0,2	Vala gramada	3,6 x 166,0 x 0,5	120	42,90	0,00001	173,32
<b>Prédio I</b>	1.458,70	0,9		0,2	Vala/Trincheira	0,8 x 40,0 x 1,15	120	46,50	0,000005	94,00
<b>Via B</b>	1.872,00	0,9		0,2	Vala gramada	3,0 x 109,0 x 0,3	60	39,80	0,00001	67,93
<b>Estacionamento A</b>	2.848,00	0,9	2.588,00	0,97	pavimento permeável (detenção)	2.588,00	60	28,90	1,38889E-06	146,80
<b>Estacionamento B</b>	2.533,00	0,9	2.500,00	0,97	pavimento permeável (detenção)	2.500,00	60	37,60	1,38889E-06	176,74
<b>TOTAIS</b>	<b>18.264,00</b>		<b>5.088,00</b>							<b>853,75</b>

\*Corresponde à duração que provocou o máximo dhmax  
 l = largura; c = comprimento; p = profundidade

Optou-se pelo uso de valas gramadas, por se tratar de estruturas de baixo custo de construção e manutenção, além dos ganhos paisagísticos e benefícios ambientais, com a possibilidade de recarga do lençol freático e com a melhoria da qualidade das águas de origem pluvial. O uso de valas apresenta benefícios do ponto de vista hidrológico, através da detenção temporária das águas, amortecendo as vazões. Essas condições são fortalecidas, se considerarmos que a área de projeto se trata de área institucional.

As valas foram dimensionadas conforme metodologia apresentada por *Baptista et al* (2005); utilizando-se do método das chuvas, considerando os volumes de água captados pelos telhados das edificações e seu coeficiente de escoamento (C), além da declividade do terreno, a permeabilidade do solo e áreas de vegetação (Tabela 15).

Para dimensionamento desses dispositivos, foi preciso averiguar quão seco está o solo para determinação da taxa de permeabilidade nas valas; para isso, adotou-se  $k = 0,00001$  m/s. Em função da área de drenagem e das características de seção transversal da vala, foi possível determinar o comprimento necessário para cada vala.

Urbonas e Stahre (1993) recomendam que os valos não devem ser utilizados em locais onde a declividade longitudinal supere 2%, pois nessa condição, a infiltração da água no solo não é favorecida.

A topografia do local permite uma declividade longitudinal das valas de aproximadamente 2%. Os taludes das valas deverão ser na proporção 3:1 para a manutenção e para evitar a erosão lateral (Figura 71).

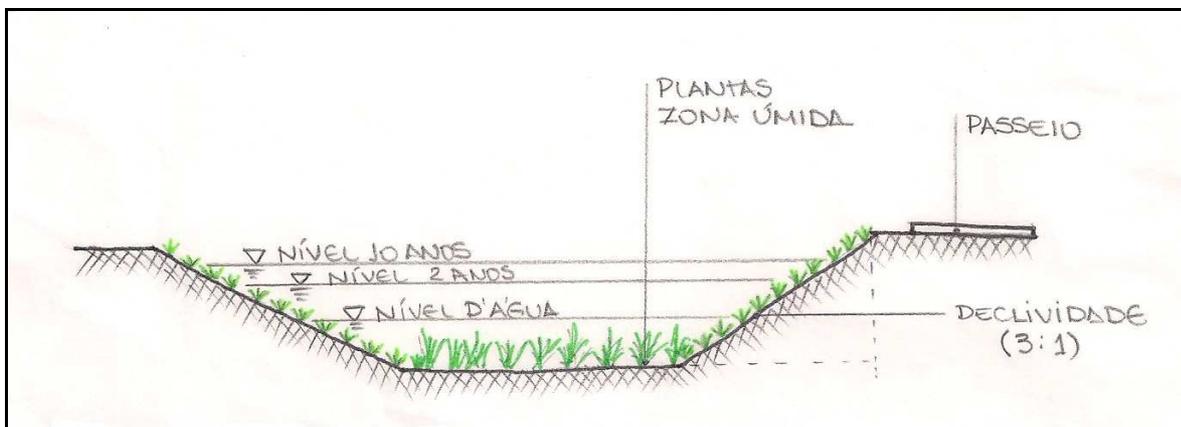


FIGURA 71 – Representação esquemática das valas.

As valas foram então locadas, preferencialmente, ao longo das vias e passeios, considerando que receberão o escoamento proveniente dos mesmos e dos telhados das edificações. O posicionamento das estruturas propostas à jusante das edificações, além de evitar interferência na fundação, garante o escoamento natural da água para dentro dos dispositivos.

Para as valas com declividade longitudinal superior a 3%, utilizou-se de barragens (divisórias) a cada 15 metros de distância, de forma a aumentar os volumes de armazenamento e permitir a infiltração.

Considera-se que o projeto dos dispositivos obedecerá ao tempo máximo de esvaziamento e de funcionamento, sendo que neste tempo não ocorrerão os problemas de risco sanitário.

Foram sugeridas algumas espécies de gramíneas que podem ser plantadas no interior das valas, capazes de criar uma cobertura uniforme e densa, resistentes a condições prevaletentes de umidade (Tabela 16).

Cabe ressaltar que a vegetação é extremamente importante na prevenção da erosão, e ajuda a controlar as descargas de pico, reduzindo a velocidade de escoamento, alongamento caminhos de fluxo e aumentando do tempo de concentração. A infiltração através da cobertura vegetal ajuda a reduzir o volume total de escoamento de águas pluviais.

Os custos para implantação das valas estão estimados no capítulo 18.

TABELA 16 - Relação das espécies para uso em áreas periodicamente alagadas.

Nome comum	Nome científico	Tolerância ao encharcamento	Tipo de solo / Exigência	Hábito de crescimento	Propagação
Gramma-missioneira	<i>Axonopus compressus</i>	Média	Baixa a média fertilidade	Rasteiro	Placas / Mudas
Tanner grass	<i>Brachiaria arrecta</i>	Alta	Mal drenado, alagados	Rasteiro	Mudas
Capim-agulha	<i>Brachiaria humidicula</i>	Alta	Baixa fertilidade	Rasteiro	Sementes
Cevadinha	<i>Bromus catharticus</i>	Média	Média a alta fertilidade	Ereto	Sementes
Feijão-guandu	<i>Cajanus cajan</i>	Alta	Fraco	Arbustivo	Sementes
Capim-pangola	<i>Digitaria decumbens</i>	Alta	Média fertilidade	Rasteiro	Mudas
Capim-hemartria	<i>Hemarthria altissima</i>	Alta	Média fertilidade	Ereto	Mudas / Sementes
Capim-jaraguá	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Alta	Fértil e acidificado	Ereto	Sementes
-	<i>Lotus pedunculatus</i>	Alta	Média fertilidade	Ereto	Sementes
Serradela	<i>Ormithopus sativus</i>	Alta	Média fertilidade	Ereto	Sementes
Gramma-comprida	<i>Paspalum dilatatum</i>	Alta	Baixa fertilidade	Ereto	Sementes / Rizomas
Capim-ramirez	<i>Paspalum guenoarum</i>	Alta	Média fertilidade	Touceira	Sementes
Gramma-pernambuco	<i>Paspalum maritimum</i>	Alta	Baixa fertilidade	Rasteiro	Sementes
Gramma-conquista	<i>Paspalum vaginatum</i>	Alta	Baixa fertilidade	Rasteiro	Placas / Sementes
Setária	<i>Setaria sphacelata</i>	Alta	Sem acidez e média fertilidade	Touceira	Sementes
Trevo subterrâneo	<i>Trifolium subterraneum</i>	Média	Média a alta fertilidade	Rasteiro	Sementes
Vetiver	<i>Vetiveria zizanoides</i>	Alta	Qualquer tipo de solo	Touceira	Mudas

Fonte: Pereira, 2006.

Para dimensionamento da vala/trincheira junto ao prédio "I", utilizou-se do método das chuvas, considerando o volume de água captado pelo telhado da edificação, a ser armazenado na estrutura, e seu coeficiente de escoamento (C), além da declividade do terreno, e a permeabilidade do solo. Para o dimensionamento do dispositivo, adotou-se  $k = 5 \times 10^{-6}$  m/s.

Na Figura 72 é possível verificar o posicionamento da vala/trincheira a jusante da edificação, perpendicular ao sentido de escoamento.

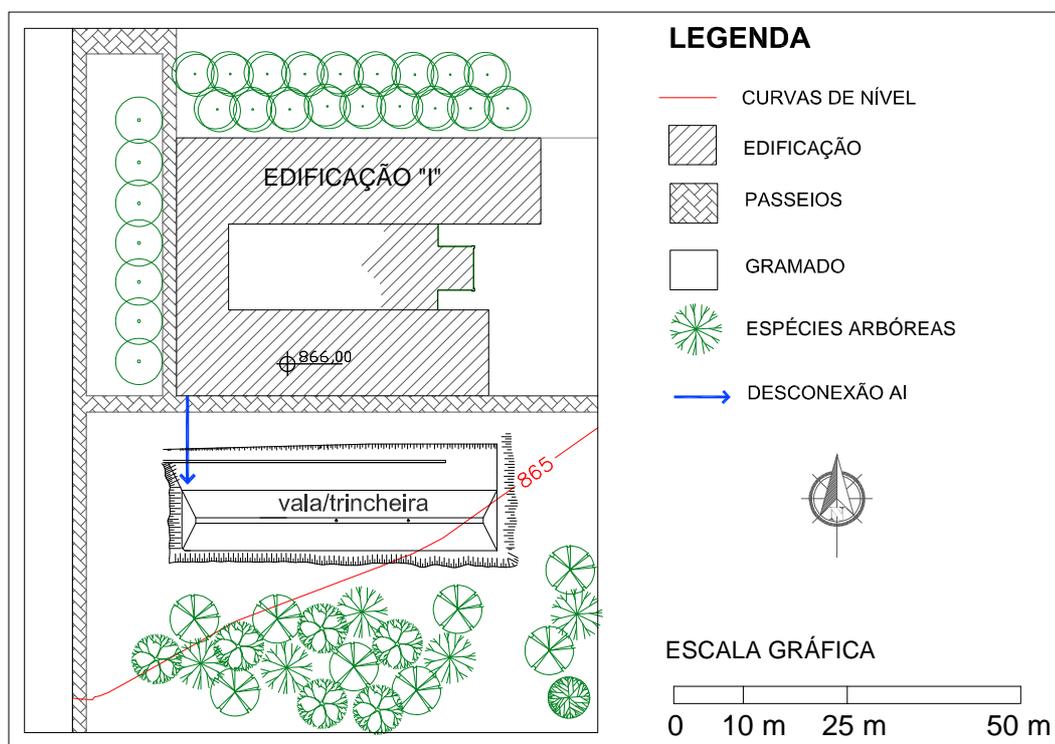


FIGURA 72 – Implantação da Vala/Trincheira junto à edificação “I”.

Os custos para implantação da vala/trincheira encontram-se no capítulo 18.

Visando o controle do escoamento gerado pela pavimentação das vias, nas áreas de estacionamentos optou-se pelo uso de pavimentos permeáveis, do tipo blocos de concreto vazados preenchidos com grama. Optou-se por não alterar o desenho dos estacionamentos já implantados.

No estacionamento “A”, em uma área de 2.588,00 m<sup>2</sup> deverá ser utilizado o pavimento permeável, que correspondem as 194 vagas para automóveis de passeio, conforme ilustrado na Figura 73. O estacionamento “B”, compreende uma área de 2.500,00 m<sup>2</sup> de pavimento permeável, com capacidade para 178 automóveis de passeio, a ser observado na Figura 74.

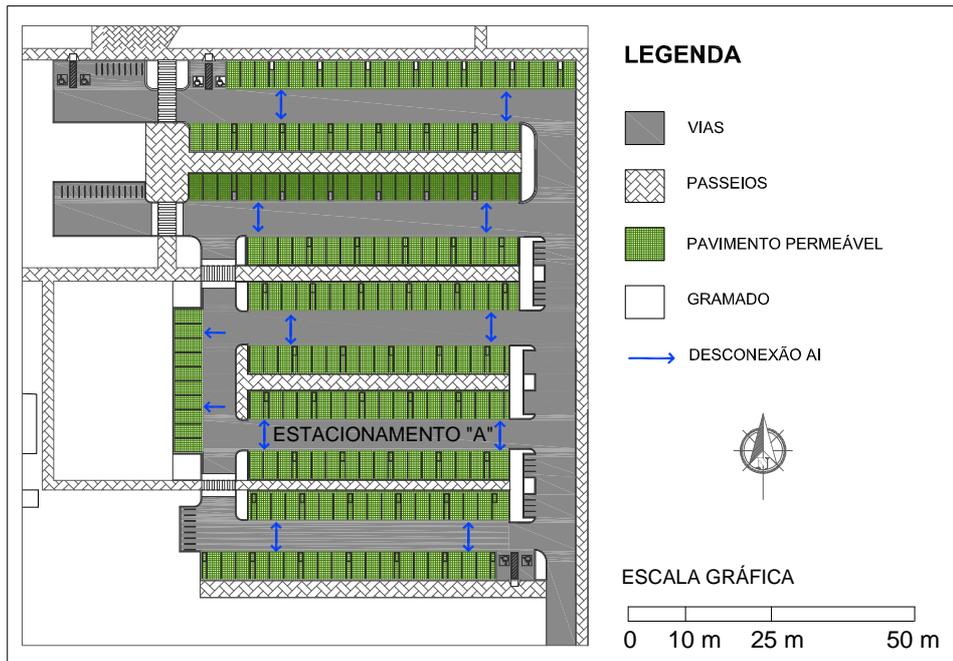


FIGURA 73 – Estacionamento A em pavimento permeável.



FIGURA 74 – Estacionamento B em pavimento permeável.

Mas por si só, o pavimento permeável não representa um ganho significativo para o sistema de drenagem. Assim, adotou-se uma estrutura de brita que permite a detenção das águas pluviais em seu interior, possibilitando posterior infiltração; o volume de armazenamento necessário foi calculado em função da área de contribuição e sua impermeabilização, através das vias.

Para dimensionamento do pavimento permeável utilizou-se do método das chuvas, conforme apresentado por *Baptista et al* (2005). Os parâmetros utilizados para o dimensionamento foram:

- ✓ Tempo de retorno ( $T_r$ ) de 10 anos;
- ✓ Permeabilidade saturada do solo:  $1,38 \times 10^{-6}$  m/s.
- ✓ Porosidade efetiva do material de preenchimento: 40% (brita nº3);
- ✓ Área a ser drenada;
- ✓ Coeficiente de escoamento da área pavimentada ( $C=0,9$ ) e do bloco de concreto vazado ( $C=0,97$ ).

Foram utilizados 5.088,00 m<sup>2</sup> de pavimento permeável, com um reservatório de britas de 11 cm e 17 cm de profundidade, respectivamente, para os estacionamentos A e B.

Os blocos vazados são assentados sobre uma camada de areia grossa de 5 cm de espessura. Utilizou-se manta geotêxtil entre as camadas para evitar a migração de material de uma camada para outra do pavimento. A Figura 75 representa o perfil do pavimento permeável e suas respectivas profundidades, resultantes do dimensionamento realizado.

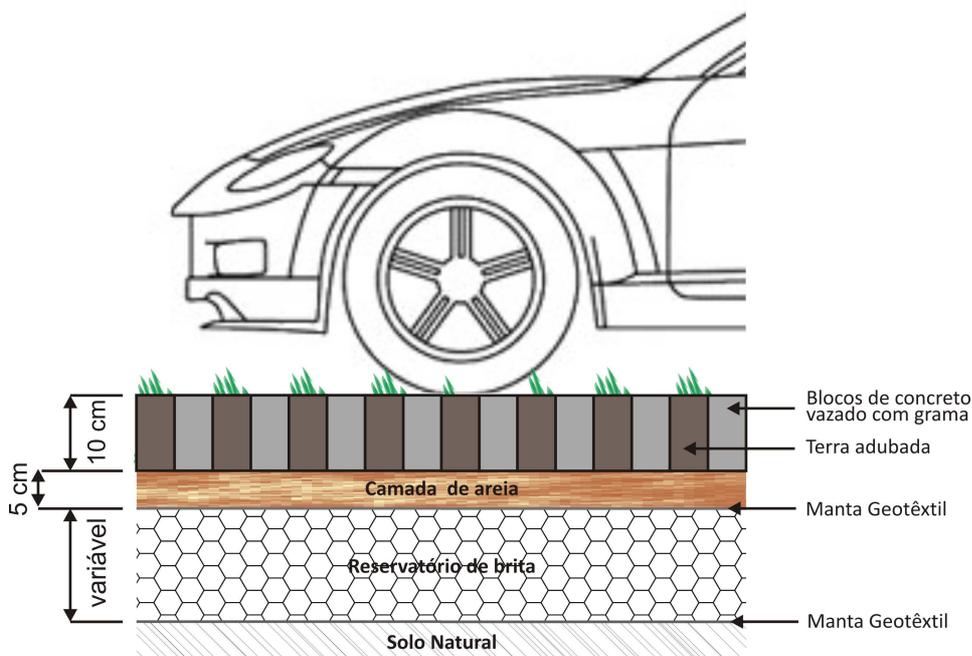


FIGURA 75 – Estrutura do pavimento permeável dos estacionamentos.

Verifica-se, na proposta projetual para os estacionamentos, a ampliação da área permeável e, simultaneamente, o aumento de árvores plantadas, além de manter o número de vagas de estacionamento. A redução da área impermeabilizada implica a redução dos gastos com pavimentação e com o sistema convencional de drenagem das águas pluviais.

É de relevante importância a rotina de manutenção preventiva dos pavimentos permeáveis, a fim de preservar a capacidade de infiltração do revestimento e evitar gastos futuros.

Os custos para implantação das áreas de pavimento permeável nos estacionamentos estão previstos no capítulo 18.

Os desenhos apresentados nas figuras 76 e 77 tratam da proposta de urbanização de baixo impacto, considerando as estratégias utilizadas para a redução da impermeabilidade, combinadas a opções de desenhos que protegem os recursos naturais, cuidando da drenagem diretamente na fonte.



FIGURA 76 – Perspectiva de urbanização de baixo impacto (em software AutoCAD 2008).

Fonte: TAVANTI, 2009.

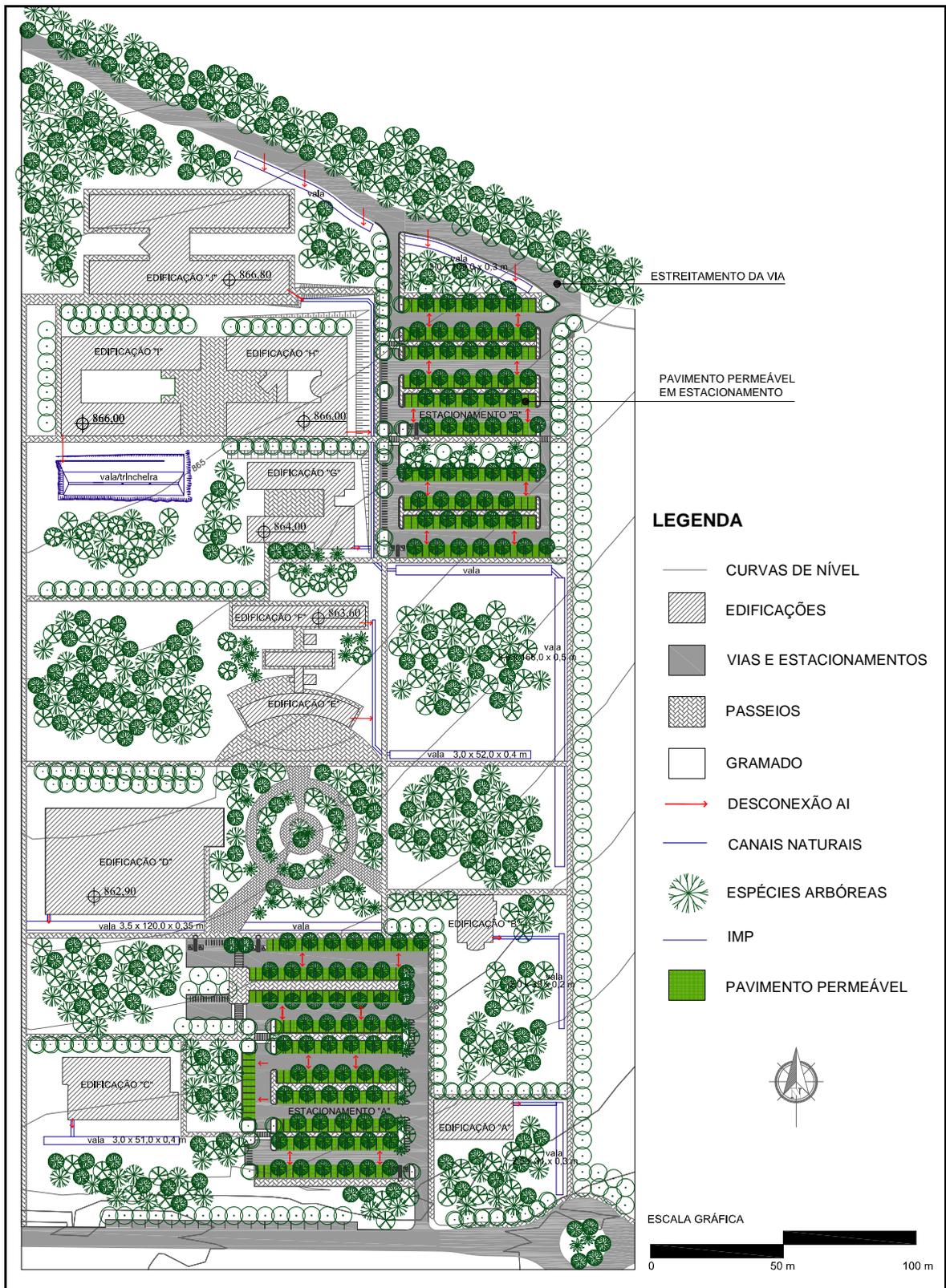


FIGURA 77 – Proposta de Urbanização de baixo impacto.

Na Tabela 17 podem ser observados os parâmetros e a comparação entre as condições de pré-ocupação, urbanização convencional e urbanização de baixo impacto para os aspectos urbanísticos, ambientais e hidrológicos.

TABELA 17 – Análise das situações de desenvolvimento por parâmetros.

Aspectos	Parâmetros	Pré-ocupação	Urbanização convencional	Urbanização de baixo impacto	
Urbanísticos	Áreas permeáveis (m <sup>2</sup> )	Áreas Verdes (m <sup>2</sup> )	89.500	38.668	54.064
		Área em projeção da técnica compensatória (m <sup>2</sup> )	0	0	6.916
	Áreas Impermeabilizadas (m <sup>2</sup> )	Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0	19.767	16.561
		Áreas de passeios (m <sup>2</sup> )	0	20.050	7.864
		Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0	11.011	11.011
	Área Impermeável Diretamente Conectada (m <sup>2</sup> )	Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0	11.011	0
		Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0	19.767	0
	Área Impermeável Não Conectada (m <sup>2</sup> )	Área de vias e estacionamentos (m <sup>2</sup> )	0	0	16.561
		Áreas de passeios (m <sup>2</sup> )	0	20.050	7.864
		Área de telhado de edifícios (m <sup>2</sup> )	0	0	11.011
		Taxa de ocupação (%)	0	12	12
		Infra-estrutura de drenagem enterrada (m)	0	1.254	0
		Técnicas compensatórias (m <sup>3</sup> )	0	0	853,75
Ambientais	Área de Cobertura vegetal (m <sup>2</sup> )	89.500	0	22.512	
	Área de gramados (m <sup>2</sup> )	0	38.668	31.552	
	Risco de poluição de água subterrânea	NÃO	NÃO	NÃO	
	Risco de poluição de água com finos e outros poluentes	NÃO	SIM	NÃO	
	Risco sanitário	NÃO	NÃO	NÃO	
Hidrológicos	Tempo de retorno (anos)	10	10	10	
	Tempo de concentração (min)	26,07	10,54	26,07	
	Volume de escoamento superficial direto (m <sup>3</sup> )	312,00	1.074,00	847,00	
	Intensidade (mm/min)	1,34	2,06	1,34	
	Coeficiente de escoamento superficial (C) ponderado	0,10	0,55	0,10	
	Vazão de pico (m <sup>3</sup> /s)	0,20	1,70	0,20	
	Volume de armazenamento para área (m <sup>3</sup> )	0	977,00	310,00	
	Volume de armazenamento para desconexão de AIDC (m <sup>3</sup> )	0	0	853,75	

Considerando os aspectos urbanísticos, pode-se observar que, houve um significativo aumento de áreas permeáveis na condição de urbanização com técnicas de LID, e uma redução de áreas impermeáveis (vias, estacionamentos e passeios), quando comparado a condição de urbanização convencional.

Os gráficos apresentados na Figura 78 comprovam que as estratégias de desenvolvimento de baixo impacto trazem benefícios à paisagem, ao meio ambiente e aos usuários, através de redução de superfícies impermeáveis e

aumento da disponibilidade de espaços livres, capazes de preservar as características naturais da área.

As áreas permeáveis em LID representam 60% de toda a área de estudo, sendo que para a condição de urbanização convencional, o percentual é de 43%. Houve redução de 17% de áreas impermeabilizadas na urbanização de baixo impacto, em relação à urbanização convencional.

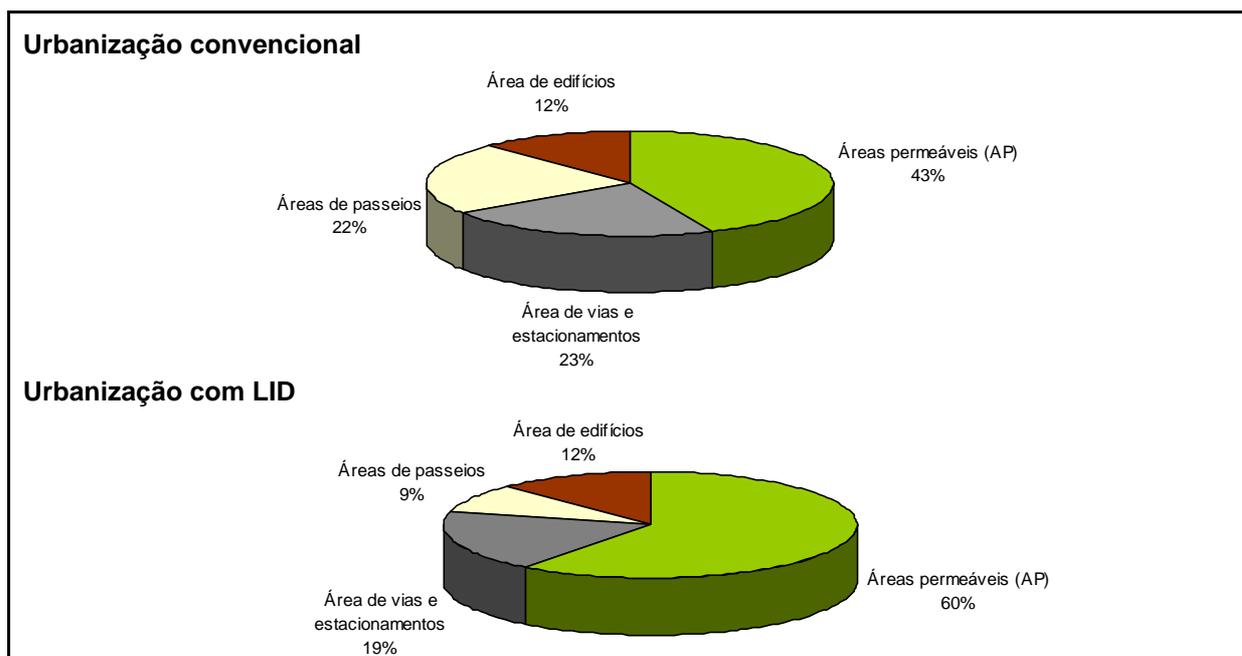


FIGURA 78 – Parâmetros urbanísticos das condições de desenvolvimento convencional e de LID.

As áreas de telhados foram desconectadas e a infra-estrutura de drenagem enterrada cedeu lugar aos canais superficiais e às estruturas de infiltração.

Quanto aos aspectos ambientais, pode-se afirmar que ocorreram grandes modificações da condição de LID em relação à condição de urbanização convencional.

Conforme a proposta de LID, de fazer uso da vegetação e de preservar ao máximo as áreas naturais, obteve-se um percentual de 25,15% de área de cobertura vegetal para a condição com LID; e 35,25% da área referem-se à área de gramados (Figura 79).

As áreas verdes poderiam representar valores maiores na condição de urbanização com técnicas de LID, caso se fizesse opção por telhados verdes em todas as edificações; no entanto, optou-se por não alterar os projetos arquitetônico e estrutural das edificações existentes.

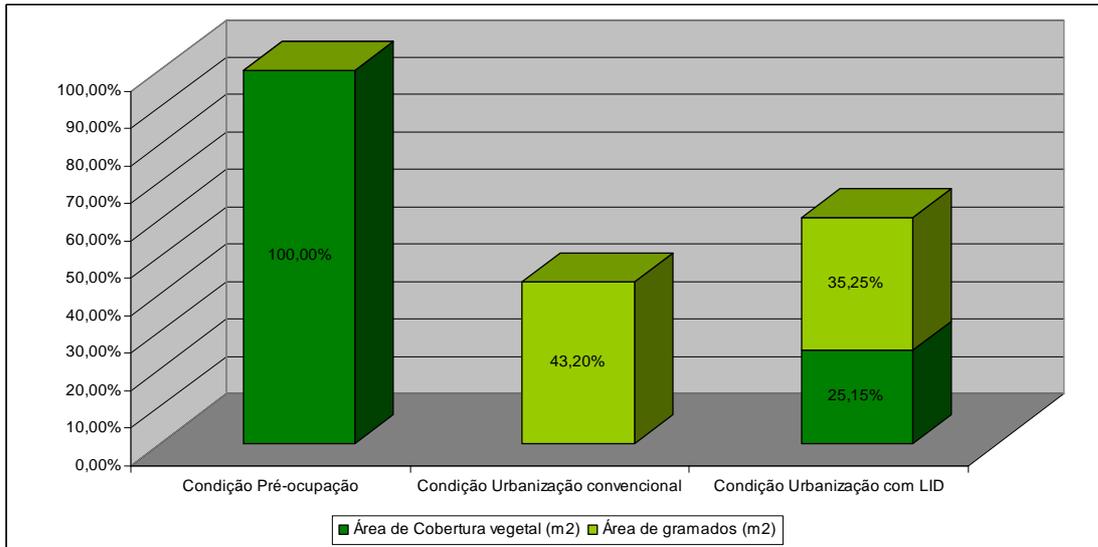


FIGURA 79 – Parâmetros ambientais das condições de desenvolvimento.

Em análise à Tabela 17, nota-se que não há risco de poluição das águas e dos solos na condição de urbanização com técnicas de LID; em função da espessura da camada do solo e a da permeabilidade do solo local, que tornam o aquífero menos vulnerável à poluição; e também em função do tipo de ocupação (telhados, caminhos para pedestres, vias e estacionamentos), por se tratar de área com lençol sem importância para o abastecimento.

Sob risco de água com finos, julga-se não haver problemas, tendo em vista que não há solos expostos, ou seja, os solos da área são cobertos com vegetação, os taludes não possuem declividade acentuada e não há na proximidade canteiros de obras que possam conduzir material fino até as estruturas. Mas é importante ressaltar a importância de redução de impactos durante a fase de construção, onde há movimentação de terra.

Cabe destacar também que, não há risco sanitário em função da estagnação de água nas estruturas propostas, considerando que os dispositivos obedecerão ao tempo máximo de esvaziamento e de funcionamento.

Dessa forma, conclui-se que o controle e o tratamento do escoamento superficial na fonte, reduz ou elimina os riscos associados a transporte de poluentes para áreas a jusante.

No projeto de urbanização com técnicas de LID, a infiltração das águas precipitadas permitiu manter as condições mais próximas possíveis das condições naturais, com isso, conseguiu-se atingir a redução das vazões de pico e do volume

de armazenamento através do uso de IMP, conforme demonstrado pelos hidrogramas da Figura 80.

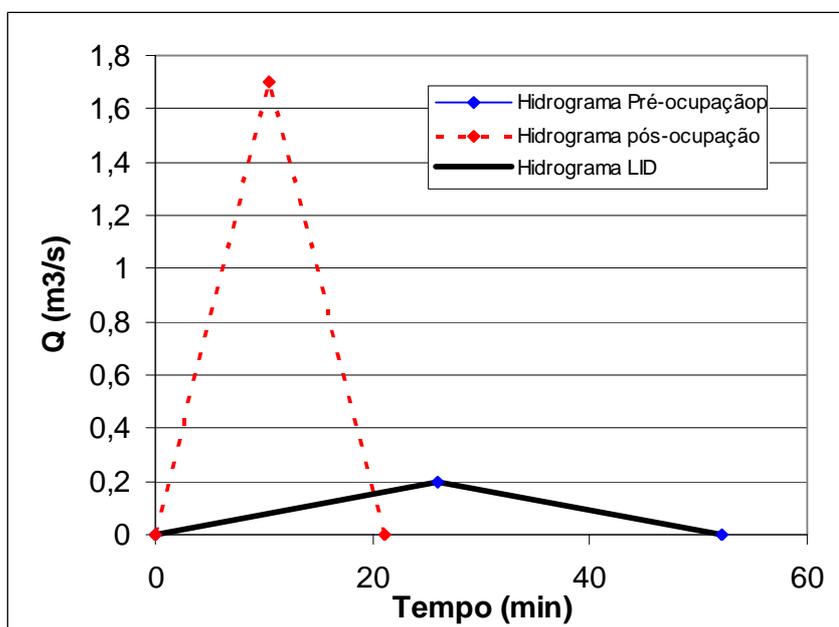


FIGURA 80 – Comportamento hidrológico de pré-ocupação, urbanização convencional e pós-ocupação com estratégias de LID, com uso de IMP.

Quanto aos aspectos hidrológicos, pode-se então afirmar que foi alcançado o nível de controle requerido para atingir as metas de gestão de LID para a área.

## 18. Estimativa de custos para implantação das estruturas

Por se tratar de uma área Institucional, a questão de custos de implantação e manutenção das estruturas propostas é de relevada importância.

As valas são estruturas que não apresentam custos significativos de implantação, envolvendo apenas obras de terraplenagem e de revestimento vegetal. O funcionamento das estruturas e a manutenção são muito simples, tendo em vista sua semelhança com áreas verdes.

Algumas composições de custos citadas por Baptista *et.al* (2005), referentes ao ano de 2000, permitem chegar a valores médios da ordem de R\$26,00/m<sup>3</sup> para implantação de valas revestidas com espécies vegetais. O custo de manutenção das estruturas é em torno de R\$ 5,00/m<sup>3</sup> por ano.

Os pavimentos permeáveis apresentam custos de implantação semelhantes aos pavimentos tradicionais. No entanto, a colmatação pode implicar em redução da vida útil e em custos significativos para manutenção do dispositivo.

Baptista *et.al* (2005) ressaltam estudos desenvolvidos por Moura (2004) para as condições brasileiras, referente a custos de implantação e manutenção para diversos tipos de pavimentos. Os blocos de concreto vazados (evacuação por infiltração) têm um custo médio de R\$ 16,97/m<sup>2</sup> para implantação e de R\$ 2,57/m<sup>2</sup> para manutenção anual.

Acioli (2005) desenvolveu um estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. Para a autora, o levantamento de custos completo acerca de um empreendimento deve contemplar os custos de material, mão-de-obra, operação e manutenção. No estudo desenvolvido, realizou-se a composição de custos para implantação de dois tipos de pavimentos permeáveis revestidos com blocos vazados e com asfalto poroso, em Porto Alegre.

Para implantação do pavimento permeável com revestimento em blocos vazados, Acioli (2005) chegou a um custo de R\$ 118,57/m<sup>2</sup> de material e mão-de-obra. A autora ainda calculou o custo unitário do pavimento permeável para diferentes profundidades da camada de brita (Tabela 18).

Verificou-se um elevado gasto com os itens relacionados ao reservatório de britas; ficando visível a importância do dimensionamento adequado do reservatório, pois deste depende fortemente o custo total da obra. Os gastos correspondentes à compra de brita, escavação, assentamento de brita e transporte de bota-fora, representam 30% do custo total da obra. No citado estudo não se realizou análise sob custos de manutenção dos pavimentos.

TABELA 18 – Custo unitário dos pavimentos permeáveis e o acréscimo devido ao aumento na espessura do reservatório de britas.

Profundidade	Blocos vazados	Acréscimo no custo (%)
5	R\$ 92,68	
10	R\$ 97,86	5,6
15	R\$ 103,04	5,3
20	R\$ 108,21	5,0
25	R\$ 113,39	4,8
30	R\$ 118,57	4,6
35	R\$ 123,75	4,4
40	R\$ 128,93	4,2
45	R\$ 134,11	4,0
50	R\$ 139,29	3,9

Fonte: ACIOLI, 2005.

Baseando-se nos estudos desenvolvidos, realizou-se um levantamento de custos para implantação das estruturas propostas, considerando as características da região de São Carlos. Os valores de material e mão-de-obra correspondem ao mês de julho/2009, obtidos no boletim 151 da Companhia Paulista de Obras e Serviços – CPOS e através de pesquisa de preços em fornecedores da região.

Para implantação das valas gramadas, chegou-se a um custo de R\$ 30,30/m<sup>3</sup> de material e mão-de-obra, como pode ser verificado na Tabela 19. Os gastos correspondentes a mão-de-obra totalizam 60% do custo total da obra.

TABELA 19 – Custos de implantação de valas revestidas com espécies vegetais.

	Unid.	Quant.	Custo unit.	Custo total
<b>Material</b>				
Grama em placas	m <sup>2</sup>	1828,10	R\$ 4,40	R\$ 8.043,64
			<b>Sub-total:</b>	<b>R\$ 8.043,64</b>
<b>Mão-de-obra</b>				
Escavação mecanizada em solo	m <sup>3</sup>	739,15	R\$ 5,00	R\$ 3.695,75
Plantio de grama em placas	m <sup>2</sup>	1828,10	R\$ 3,00	R\$ 5.484,30
bota fora de material	m <sup>3</sup>	739,15	R\$ 7,00	R\$ 5.174,05
			<b>Sub-total:</b>	<b>R\$ 14.354,10</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 22.397,74</b>
			<b>Custo por m<sup>3</sup>:</b>	<b>R\$ 30,30</b>

Para implantação do pavimento permeável com revestimento em blocos vazados e preenchimento com tufo de grama nas áreas de estacionamentos, chegou-se a um custo de R\$ 60,94/m<sup>2</sup>, considerando gastos com material e mão-de-obra (Tabela 20).

Nos custos estimados para implantação de pavimentos permeáveis com estrutura de armazenamento, nota-se um elevado gasto relacionado ao reservatório de pedra britada.

TABELA 20 – Custos de implantação de pavimentos permeáveis com revestimento em blocos vazados e estrutura de armazenamento.

	Unid.	Quant.	Preço unit.	Preço total
<b>Material</b>				
Pedra britada nº 3	m <sup>3</sup>	763,20	R\$ 55,50	R\$ 42.357,60
Areia grossa	m <sup>3</sup>	254,40	R\$ 61,00	R\$ 15.518,40
Manta geotêxtil 200g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	10176,00	R\$ 4,00	R\$ 40.704,00
Blocos de concreto vazado	m <sup>2</sup>	5088,00	R\$ 30,00	R\$ 152.640,00
Grama esmeralda	m <sup>2</sup>	2544,00	R\$ 3,00	R\$ 7.632,00
			<b>Sub-total:</b>	<b>R\$ 258.852,00</b>
<b>Mão-de-obra</b>				
Escavação mecanizada em solo	m <sup>3</sup>	1526,40	R\$ 5,00	R\$ 7.632,00
Assentamento da Manta geotêxtil 200g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	10176,00	R\$ 2,00	R\$ 20.352,00
Assentamento da camada de brita	m <sup>3</sup>	763,20	R\$ 0,30	R\$ 228,96
Espalhamento de areia grossa	m <sup>3</sup>	254,40	R\$ 0,30	R\$ 76,32
Assentamento dos blocos de concreto vazados	m <sup>2</sup>	5088,00	R\$ 4,00	R\$ 20.352,00
Plantio de grama esmeralda	m <sup>2</sup>	2544,00	R\$ 1,00	R\$ 2.544,00
			<b>Sub-total:</b>	<b>R\$ 51.185,28</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 310.037,28</b>
			<b>Custo por m<sup>2</sup>:</b>	<b>R\$ 60,94</b>

Realizando um comparativo em relação ao orçamento do Escritório de Desenvolvimento Físico do Campus da Universidade Federal de São Carlos, para implantação de pisos permeáveis sem estrutura de armazenamento, o custo diminuiu para R\$ 48,60/m<sup>2</sup>.

Se na mesma área for utilizado revestimento asfáltico, convencional em áreas de estacionamento, o custo seria de aproximadamente R\$ 50,25/m<sup>2</sup>; diferença relativamente pequena se considerarmos os benefícios ambientais e hidrológicos oferecidos pelo uso do pavimento permeável com estrutura de armazenamento em relação à pavimentação convencional.

Para implantação da vala/trincheira junto à edificação "I", estima-se um custo total de R\$ 21.288,64, conforme apresentado na Tabela 21.

TABELA 21 – Custos de implantação da vala/trincheira.

	Unid.	Quant.	Preço unit.	Preço total
<b>CANALETA COM BRITA (DIAFRAGMA)</b>				
Escavação manual de vala com bota fora	m <sup>3</sup>	8,40	R\$ 29,00	R\$ 243,60
Acerto e compactação de fundo de vala	m <sup>2</sup>	14,00	R\$ 3,29	R\$ 46,06
Brita nº 3	m <sup>3</sup>	6,44	R\$ 55,50	R\$ 357,28
Tubo de PVC perfurado - Ø 250 mm	m	40,00	R\$ 86,58	R\$ 3.463,20
<b>TRINCHEIRA</b>				
Movimentação de terra do plano inclinado gramado	m <sup>3</sup>	270,29	R\$ 12,76	R\$ 3.448,92
Escavação manual de vala com bota fora - Trincheira	m <sup>3</sup>	43,11	R\$ 29,00	R\$ 1.250,13
Acerto e compactação de fundo de vala	m <sup>2</sup>	33,16	R\$ 3,29	R\$ 109,10
Manta geotêxtil - gramatura 300 g/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	173,50	R\$ 6,00	R\$ 1.040,97
Brita nº 3	m <sup>3</sup>	38,13	R\$ 55,50	R\$ 2.116,44
Areia grossa lavada	m <sup>3</sup>	4,97	R\$ 61,00	R\$ 303,41
Seixo rolado cor natural - Ø 6 cm	m <sup>3</sup>	3,32	R\$ 134,50	R\$ 446,00
Tubo de PVC perfurado - Ø 200 mm - Poço de coleta	m	2,25	R\$ 64,32	R\$ 144,72
Tubo de PVC perfurado - Ø 150 mm - Poço de inspeção	m	2,25	R\$ 46,19	R\$ 103,93
<b>TUBO DE CONCRETO</b>				
Escavação manual de vala	m <sup>3</sup>	12,79	R\$ 19,00	R\$ 242,96
Acerto e compactação de fundo de vala	m <sup>2</sup>	13,32	R\$ 3,29	R\$ 43,82
Reaterro compactado manual	m <sup>3</sup>	8,67	R\$ 29,00	R\$ 251,30
Lastro de areia	m <sup>3</sup>	1,33	R\$ 79,32	R\$ 105,65
Tubo de concreto	m	22,20	R\$ 53,75	R\$ 1.193,25
Caixa de alvenaria - Extravasor	un	1,00	R\$ 300,00	R\$ 300,00
Comporta metálica (32 x 50) cm	un	1,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Interligação a rede existente	un	1,00	R\$ 200,00	R\$ 200,00
<b>SERVIÇOS COMPLEMENTARES</b>				
Grama tipo Batatais	m <sup>2</sup>	1.431,98	R\$ 4,00	R\$ 5.727,90
			<b>TOTAL</b>	<b>21.288,64</b>

Os investimentos estimados para implantação das estruturas propostas no projeto (valas, trincheira e pavimentos permeáveis) encontram-se na Tabela 22.

TABELA 22 – Custo total para implantação das estruturas propostas na urbanização de baixo impacto.

Item	Estrutura	Custo (em reais)
1	Valas gramadas	R\$ 22.397,74
2	Vala/Trincheira de infiltração	R\$ 21.288,64
3	Pavimentos permeáveis	R\$ 310.037,28
	Total de investimentos	<b>R\$ 353.723,66</b>

Para implantação das estruturas propostas na urbanização de baixo impacto, será necessário um investimento de R\$ 353.723,66.

Se para a mesma área for implantado um sistema convencional de drenagem (microdrenagem), o Departamento de Águas e energia Elétrica – DAEE

estima um custo de R\$ 25.000,00 por hectare, nesse caso, os investimentos necessários seriam em torno de R\$ 223.750,00.

Se considerarmos os benefícios urbanísticos, ambientais e hidrológicos oferecidos pelo uso de técnicas de LID, a diferença de custo de implantação de estruturas de drenagem convencionais e de estruturas de LID é relativamente pequena.

## CONCLUSÕES

Com a revisão bibliográfica foi possível comparar teoricamente os conceitos e objetivos do desenvolvimento urbano convencional com o desenvolvimento urbano de baixo impacto (LID), confrontando suas vantagens e desvantagens quanto aos aspectos hidrológicos, urbanísticos e ambientais. Constatou-se teoricamente que LID apresenta avanços consideráveis para a drenagem urbana, dependendo das soluções adotadas e da sua inserção no ambiente urbano.

Este trabalho objetivou avaliar métodos e técnicas de desenvolvimento de baixo impacto relativos à condição de pré-ocupação e urbanização convencional. Isto foi estudado em uma área do campus da UFSCar, no município de São Carlos/SP.

Para o desenvolvimento de baixo impacto da área, adotou-se uma metodologia de planejamento urbano que incorpora desde o início de sua concepção as questões relativas a drenagem das águas superficiais; através de soluções sustentáveis que recuperam as funções do ciclo hidrológico, por meio de recursos como preservação das características locais, uso de canais naturais, aumento de caminho de fluxo, uso de canais naturais de fluxo, redução de áreas impermeabilizadas, desconexão de áreas, etc.

Na proposta de urbanização de baixo impacto, conseguiu-se um aumento das áreas permeáveis; por conseqüência, houve uma redução das impermeabilizadas em 17%, afirmando que as estratégias de LID trazem benefícios à paisagem, ao meio ambiente e aos usuários, através de redução de superfícies impermeáveis e aumento da disponibilidade de espaços livres, capazes de preservar as características naturais da área.

Ambientalmente, pode-se afirmar que ocorreram grandes modificações da condição de LID em relação à condição convencional. Criou-se 25% de área de cobertura vegetal, antes inexistentes. Foi possível reduzir os riscos sanitários, de poluição e de água com finos, através do uso de IMP e com o cuidado com as superfícies do solo.

Hidrologicamente, o projeto com técnicas de LID manteve as condições mais próximas possíveis das condições naturais (pré-ocupação), com isso, conseguiu-se atingir a redução das vazões de pico e do volume de armazenamento através do uso de IMP.

Pode-se então afirmar que foi alcançado o nível de controle requerido para atingir as metas de gestão de LID para a área, reduzindo de 1,7 m<sup>3</sup>/s para 0,20 m<sup>3</sup>/s, a vazão de pico e permitindo o armazenamento de um volume de água de 854 m<sup>3</sup> nas estruturas de infiltração locais propostas.

Quanto às IMP utilizadas em projeto, pode-se mencionar o fato das valas de infiltração ser muito vantajosas em relação aos custos de implantação e manutenção, e se integrar facilmente ao tecido urbano. No entanto, a vala/trincheira não possui muitas restrições de aplicação, porém os custos para implantação são mais elevados.

Os pavimentos permeáveis demonstram ser uma alternativa interessante na redução dos impactos ao meio ambiente e no que diz respeito à segurança viária, por evitarem o acúmulo de água na superfície.

Em comparação a pavimentos convencionais normalmente empregados, a diferença de custo de implantação é relativamente pequena, em torno de 18%, se considerarmos os benefícios ambientais e hidrológicos oferecidos pelo uso de pavimentos permeáveis com estrutura de armazenamento.

Com relação à viabilidade econômica de implantação das estruturas propostas no desenvolvimento de baixo impacto, verificou-se a necessidade de um investimento total estimado em R\$ 353.723,66. Para implantação de um sistema convencional de drenagem (microdrenagem), estima-se um custo de R\$ 223.750,00.

Do ponto de vista paisagístico, notou-se que as intervenções realizadas tornaram o ambiente mais agradável, propiciando melhor qualidade ambiental do espaço, e melhor qualidade de vida aos usuários, através da inserção de maciços arbóreos nos espaços livres, além da criação de um dinamismo na paisagem.

As diversidades de espécies vegetais utilizadas nos agrupamentos arbóreos atuam no microclima, contribuindo para melhorar a ambiência urbana; o sombreamento do espaço fica garantido, bem como a diminuição da temperatura e elevação da umidade do ar sob suas copas. O sombreamento propiciado pelas

espécies vegetais diminui as temperaturas superficiais das áreas pavimentadas, e a sensação de calor dos pedestres.

O que se espera é que este trabalho tenha conseguido comprovar a possibilidade de implantação das técnicas de LID, demonstrando que são acessíveis e podem ser implantadas a qualquer tipo de empreendimento, desde que observados os condicionantes físicos e ambientais que limitam a aplicabilidade das técnicas de LID ao local.

A maior preocupação na implantação do desenvolvimento de baixo impacto, talvez seja quanto à aceitação das técnicas pela população, que deve estar envolvida no processo de planejamento e posteriormente, na gestão.

Esta proposta de desenvolvimento de baixo impacto deve ser futuramente aperfeiçoada para implantação na área. No entanto, o controle e a gestão dos impactos são realizados, não somente pela utilização de técnicas estruturais, mas também pela educação pública.

Recomenda-se a partir dessa experiência, o uso das práticas de LID para novos desenvolvimentos, não somente voltado ao planejamento do Campus da Universidade Federal de São Carlos, mas também, para subsidiar os municípios para que sejam mais criativos na gestão das águas pluviais. Também é necessária a elaboração de normas e legislações de uso do solo relacionadas à questão ambiental.

A população local deve receber informações sobre os benefícios do desenvolvimento de baixo impacto, bem como das suas responsabilidades na manutenção. Dentre as práticas de manutenção adequada, incluem manter as áreas de cobertura vegetal e a remoção de lixo e outros detritos. Só assim, o desenvolvimento de baixo impacto proposto nesse trabalho garantirá a gestão sustentável das águas pluviais no meio urbano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIKO, A. K. et al. Urbanismo: História e desenvolvimento. São Paulo: Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1995. Disponível em: <<http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/ttpcc16.pdf>>. Acesso em 20 de maio de 2008.

ACIOLI, L.A. Estudo Experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

ANDRADE, C. R. M. A peste e o plano: o urbanismo sanitaria do Eng.º Francisco Saturnino de Brito. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1992. 282p.

ARAÚJO, P.R. Análise experimental da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. In Avaliação e controle da drenagem urbana. Organizado por Carlos E. Morelli Tucci e David da Motta Marques. Ed. Universidade UFRGS, 2000.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. de O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.7, n.1, 2002.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BARROS, M.T.L. Drenagem Urbana: Bases Conceituais e Planejamento. In: PHILIPPI Jr., A. Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005.

BARTH, R.T. Planos Diretores em drenagem urbana: proposição de medidas para sua implementação. São Paulo: Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 1997.

BENÉVOLO, L. As origens da urbanística moderna. 3. ed. Lisboa: Ed. Presença, 1994.

BENÉVOLO, L. História da Cidade. São Paulo: Perspectiva, 1983.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, 1988.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. A questão da Drenagem Urbana no Brasil: elementos para formulação de uma Política Nacional de Drenagem Urbana. Brasília: MCidades, 2003.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Programa de Drenagem Sustentável: Apoio ao Desenvolvimento do Manejo das Águas Pluviais urbanas. Brasília: MINISTÉRIO DAS CIDADES, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005.

BRASIL. PRESIDENCIA DA REPÚBLICA, CASA CIVIL. Lei Federal nº 10.257 de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da Política Urbana – Estatuto da Cidade. Brasília, 2001.

BRASIL. PRESIDENCIA DA REPÚBLICA, CASA CIVIL. Lei Federal nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a Política Federal de saneamento básico. Brasília, 2007.

BRASIL. PRESIDENCIA DA REPÚBLICA, CASA CIVIL. Lei Federal nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do solo urbano. Brasília, 1979.

BRASIL. PRESIDENCIA DA REPÚBLICA, CASA CIVIL. Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos. Brasília, 1997.

BRASIL. PRESIDENCIA DA REPÚBLICA, CASA CIVIL. Lei Federal nº 9.785 de 29 de janeiro de 1999. Altera a lei 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Brasília, 1999.

BRASIL. PRESIDENCIA DA REPÚBLICA, CASA CIVIL. Lei Federal nº 9.984 de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 2000.

BRASIL. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Gestão de águas pluviais urbanas. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. 194 p. (Saneamento para Todos; 4º volume).

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

COSTA JUNIOR, L.L. Avaliação do uso e ocupação do solo e do emprego de medidas de controle de inundação no lote. São Carlos: UFSCar. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de São Carlos, 2003.

CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.E.M. Avaliação dos cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.13, n.3, p.59-71, 2008.

DAEE/CETESB. Drenagem urbana: Manual de projeto. 2ª ed., São Paulo: DAEE / CETESB, 1980.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT - MARYLAND. Stornwater Design Manual – Volumes I e II. Maryland, 2009 revisions.

DIÁRIO DA REGIÃO (2008). Rio Preto debaixo d'água. São José do Rio Preto: Jornal Diário da Região- Cidades. (Disponível em:

[http://www.diarioweb.com.br/noticias/corpo\\_noticia.asp?IdCategoria=62&IdNoticia=104145](http://www.diarioweb.com.br/noticias/corpo_noticia.asp?IdCategoria=62&IdNoticia=104145), acesso em 09 de fevereiro de 2008).

DORNELLES, C.T.A. Percepção Ambiental: uma análise na bacia hidrográfica do Rio do Monjolinho. São Carlos: USP. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2006.

ENVIRONMENTAL SERVICES - CITY OF PORTLAND - CLEAN RIVER WORKS. Stormwater Management Manual. Portland: CLEAN RIVER WORKS, 2002.

ESPÍNDOLA, E.L.G; SILVA, J.S.V; MARINELLI, C.E; ABDON, M.M (org). A Bacia Hidrográfica do Rio do Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar. São Carlos: RiMa, 2000.

FRANCO, M.A.R. Desenho ambiental: uma introdução à arquitetura da paisagem com o paradigma ecológico. São Paulo: Anablume, FAPESP, 2008. 2ª Ed. 224 p.

FRANCO, M.A.R. Planejamento Ambiental para a Cidade Sustentável. São Paulo, Anablume: FAPESP, 2001.

GAROTTI, L.M; BARBASSA, A.P. (2009). “Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial”. São Carlos: UFSCar, pp.1- 7. (Informações dos autores).

GENZ,F; TUCCI, C.E.M. Infiltração em superfícies urbanas. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, vol.13, nº1, jun.1995.

GEORGIA (2001 a). Stormwater Management Manual: stormwater policy guidebook. ARC. Geórgia: Volume 1, 158 p. (Disponível em: <http://www.georgiastormwater.com/vol1/gsmmvol1.pdf>; acesso em 20 de março de 2008).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Carta topográfica de Ibaté. IBGE, 1971. Escala: 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Carta topográfica de São Carlos. IBGE, 1971. Escala: 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População e área territorial do município de São Carlos – ano 2007. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 02 de fevereiro de 2009.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré – Relatório Final. São Paulo: IPT, 2000.

JORGE, F.N. e UEHARA, K. (2001). “Água de superfície”. In: Oliveira, A.M.S. e Brito, S.N.A. (editores). Geologia de Engenharia. 2ª impressão. São Paulo: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p.101-109.

LAMAS, J. M. R. G. Morfologia Urbana e Desenho da Cidade. 2 ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian: Fundação para a Ciência e a Tecnologia: Ministério da Ciência e da Tecnologia, 1992.

LYNCH, K. A imagem da cidade. São Paulo, Martins Fontes, 1997.

MARTINS, P.A.G. Manejo de águas pluviais urbanas: Estudo de Bacias de amortecimento na Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas: PUC, 2006. 181 p.

MASCARÓ, J.L. Infra-estrutura da Paisagem. Porto Alegre, RS: Masquatro Editora, 2008. 194 p.

MASCARÓ, J.L. Loteamentos urbanos. Porto Alegre, RS: Masquatro Editora, 2005. 210 p.

MCCUEN, R.H. Hydrologic analysis and design. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1989. 867p.

MELO FRANCO, A.A. História do povo brasileiro. São Paulo: Jânio Quadros editores culturais, 1968.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Ministério das Cidades: Resultados, projeções, ações. Brasil: MCidades, 2008.

MONTANO, M. Os recursos hídricos e o zoneamento ambiental: o caso do município de São Carlos (SP). São Carlos: USP. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

MORRIS, A.E.J. Historia de la forma urbana: desde sus orígenes hasta La revolución industrial. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

MOTA, S. Urbanização e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Abes, 1999.

PAESE, A. Análise e caracterização ambiental do Campus da Universidade Federal de São Carlos, SP. São Carlos: UFSCar - Dissertação de Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais – Universidade Federal de São Carlos, 1997.

PEREIRA, A. R. Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão. Belo Horizonte, MG: Editora FAPI, 2006.

PRINCE GEORGE'S COUNTY - MARYLAND. Department of Environmental Resources. Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach. Maryland, 1999. Disponível em: < <ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>>. Acesso em 10 de abril de 2007.

SANTOS, L.J. Esgotos. In: Hydrotechnica. São Paulo: Melhoramentos, 1928.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 10.715 de 10 de novembro de 1993. Cria o Sistema de Arborização Urbana no município de São Carlos. São Carlos, 1993.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 13.246 de 2003. Estabelece a construção de reservatórios de detenção ou retenção de águas no município de São Carlos. São Carlos, 2003.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 13.332 de 27 de maio de 2004. Dispõe sobre a obrigatoriedade de arborização de vias e áreas verdes nos planos de parcelamento do solo para loteamentos e desmembramentos. São Carlos, 2004.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 13.691 de 2005. Institui o Plano Diretor do Município de São Carlos. São Carlos, 2005.

SÃO CARLOS. Lei Municipal nº 6.871 de 1º de dezembro de 1971. Define o zoneamento do município de São Carlos e os perímetros das áreas urbanas. São Carlos, 1971.

SÃO PAULO. Lei Estadual nº 12.526 de 02 de janeiro de 2007. Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. São Paulo, 2007.

SÃO PAULO. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Legislação de Recursos Hídricos: consolidação. São Paulo: DAEE, 2002.

SÉ, J.A.S. O Rio do Monjolinho e sua Bacia Hidrográfica como integradores de sistemas ecológicos: um conjunto de informações para o início de um processo de Pesquisas Ecológicas, de Educação, Planejamento e Gerenciamento Ambientais a longo prazo. São Carlos: USP. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1992.

SILVEIRA, A.L.L. Hidrologia urbana no Brasil. In: Drenagem urbana: gerenciamento, simulação e controle. Porto Alegre: ABRH/Ed.da Universidade/UFRGS, 1998.

SOUZA, C.F. Mecanismos técnicos-institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana. Porto Alegre: UFRGS. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

SOUZA, C.F., DAMASIO, C.P. Os primórdios do urbanismo moderno: Porto Alegre na administração Otávio Rocha. In: PANIZZU, W.M., ROVATTI, J.F., ed., Estudos urbanos: Porto Alegre e seu planejamento. Porto Alegre: Editora da Universidade: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1993.

SOUZA, V.C.B. Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado IPH/UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E. M. . Gestão de Águas Pluviais Urbanas. 4. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. 194 p.

TUCCI, C. E. M., Porto, R. L. L., Barros, M. T. (Org.). (1995). Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 5). 428p.

TUCCI, C.E.M. Águas Urbanas. In: Inundações Urbanas da América do Sul. C. Tucci e J. Bertoni. ABRH GWP, 2003.

TUCCI, C.E.M. Drenagem Urbana. São Paulo: Ciência e Cultura. Gestão das Águas/Artigos, vol. 55, n. 4, out/dez, 2003.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. Gestão da água no Brasil. Brasília: UNESCO, 2001.

TUCCI, C.E.M; MENDES, C.A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

U.S DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT. OFFICE OF POLICY DEVELOPMENT AND RESEARCH. The practice of Low Impact Development. Washington, D.C, 2003.

UNITED STATES. Department of Defense. Unified Facilities Criteria (UFC) Design: Low Impact Development Manual. 2004. Disponível em: <<http://www.ccb.org>>.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar. EDF – Escritório de Desenvolvimento Físico do Campus da UFSCar. Planilha Orçamentária: Estacionamento e paisagismo Medicina. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: EDF, 15 de outubro de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS – UFSCar. Plano de Desenvolvimento Institucional - PDI 2002 - Aspectos Físicos - Subsídios para discussão. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 2002.

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

VILELLA, S.M; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VILLANOVA URBAN STORMWATER PARTNERSI. Disponível em: [http://www3.villanova.edu/VUSP/bmp\\_research/green\\_roof/gr\\_roof\\_main.htm](http://www3.villanova.edu/VUSP/bmp_research/green_roof/gr_roof_main.htm). Acesso em abril de 2009.