

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**MECANISMOS TÉCNICO-INSTITUCIONAIS PARA A  
SUSTENTABILIDADE DA DRENAGEM URBANA**

**CHRISTOPHER FREIRE SOUZA**

Porto Alegre, Abril de 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**MECANISMOS TÉCNICO-INSTITUCIONAIS PARA A  
SUSTENTABILIDADE DA DRENAGEM URBANA**

**CHRISTOPHER FREIRE SOUZA**

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

**Orientador: Carlos Eduardo Morelli Tucci.**

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Joel Avruch Goldenfum	IPH/UFRGS
Prof. Dr. Benamy Turkienicz	Faculdade de Arquitetura/UFRGS
Dr. Marcus Aurélio Soares Cruz	Depto. Esgotos Pluviais/PMPA

Porto Alegre, Abril de 2005

## APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob orientação do Prof. Carlos Tucci.

A consecução deste recebeu o auxílio de órgãos públicos, parentes e amigos que participaram ao menos moralmente. Agradecimentos a estes serão realizados nos próximos parágrafos, ficando registrada a importância que cada um desempenhou ao longo da concretização desta etapa.

Um primeiro agradecimento e menção honrosa se presta ao povo brasileiro que, por intermédio do seu governo, possibilitou o meu ingresso em um curso de pós-graduação gratuito de alto nível, em uma instituição federal (UFRGS), recebendo ainda uma bolsa de mestrado fomentada pelo CNPq. Espero poder retribuir com o trabalho todo este investimento.

Agradeço também à Prefeitura Municipal de Porto Alegre que, por meio do Departamento de Esgotos Pluviais, viabilizou o conhecimento da gestão executada em municipalidades brasileiras, com dedicação especial de seus funcionários.

Agradecimento especial merecem os professores Carlos Tucci, Joel Goldenfum, Benamy Turkienicz e Walter Collischonn, bem como os amigos Marcus, Ruti, Daniel, Sidnei, Rodrigo, Márcio, Adalberto, Dante, Laura e Adriano que diretamente contribuíram com orientações para a realização de um trabalho mais completo.

Agradeço ainda aos funcionários e professores do IPH representados por Nadir, Sandra Gomes, Beatriz e André Silveira.

Aos amigos que conviveram e prestaram assistência na acomodação e durante o curso, meu agradecimento especial, citando o Zoológico da Cauduro (Fernando Gabirú, Ruberto Peru, Diogo Bode e Nilson Pato Purific), Karina, Franci, Marllus e Manu, Luis Gustavo (LG), Walter Vianna e Cris, “Mãe” Joana, Uziel, Taci, Cris Battiston, Alana, Teresa, Miguel e Sandra Carrillo, Eduardo Bueno, Diego, Marilu, Felipe, Jean, Ane e Mônica.

Ao Wellington Coimbra Lou, que confiou no meu potencial e investiu no meu trabalho. O estágio em sua empresa, bem como suas “palestras” tiveram grande influência na escolha da área (Recursos Hídricos).

Ao meu pai, ídolo, amigo e exemplo de vida e pessoa, a quem sempre vou dever agradecimentos por tudo. Espero poder estar logo de volta para curtir e aprender ainda mais contigo.

À minha mãe, que na acepção da palavra, representa fielmente todo carinho, amor e orientação, que todo filho deseja. Muito obrigado por toda paciência e ajuda.

Ao meu irmão, que, com suas palavras e forma de agir, me orienta e surpreende quanto à sua maturidade, apoiando e suprimindo a minha ausência em casa.

À Dani pela paciência e amor nestes dois anos (um em Maceió e outro em PoA). Não vejo a realização deste trabalho sem sua presença acalmadora.

Aos parentes e amigos que apoiaram e torceram para a efetivação deste trabalho, meu muito obrigado.

À Deus, que por meio do seu amor, deu-me condições plenas e colocou todos estes já citados em meu caminho.

“O mundo se tornou perigoso, porque os homens aprenderam a dominar a natureza, antes de dominar a si mesmos.”

A. Schweltzer

“O futuro depende daquilo que fazemos no presente.”

Gandhi

“Não há juiz mais severo e justo do que o tempo.”

A. C. Jesus

## RESUMO

A drenagem urbana, especialmente nos grandes centros, tem sido efetuada de forma não sustentável com contaminação e alterações no regime de escoamento superficial devido à impermeabilização de superfícies, e deposição de resíduos sólidos. Estas condições representam ameaça considerável ao homem e ao ecossistema do corpo receptor.

O emprego de práticas sustentáveis aparece como caminho a ser perseguido, encontrando no Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (*Low Impact Development*, LID) o conjunto de técnicas que mais se aproxima desta meta. LID objetiva atingir paisagens com funções hidrológicas, apresentando comportamento mais similar ao natural, por controlar não somente o pico de vazões, mas volume, frequência/duração, além de qualidade dos escoamentos pluviais. Este tipo de desenvolvimento atua recuperando a capacidade de infiltração das superfícies urbanas, além de estimular o reuso de água, reduzindo os impactos, com ganhos econômicos e paisagísticos em comparação ao controle efetuado pelos métodos tradicionais de controle por condutos e mesmo detenções. A utilização desta nova tecnologia se aplica à implantação de novos desenvolvimentos e re-desenvolvimentos, a priori, apresentando ainda vantagens para implantação destas

em empreendimentos antigos com relação a métodos tradicionais.

Buscou-se, por intermédio deste estudo, avaliar os potenciais mecanismos técnico-institucionais que possam ser empregados na realidade brasileira, em especial em Porto Alegre, vislumbrando a implementação da sustentabilidade, assim como, avaliar as respostas obtidas da simulação numérica da implantação das técnicas de LID a um condomínio hipotético. Para tanto, fez-se necessário aplicar metodologia diferente da proposta pelos manuais existentes, em virtude da insuficiência destes em representar o comportamento dos dispositivos de controle do escoamento.

Os resultados obtidos confirmaram a necessidade de revisão nos mecanismos para controle da drenagem vigentes, bem como, as vantagens de aplicação de técnicas que apresentam abordagem mais integradora e de escala menor.

## ABSTRACT

The urban drainage has been performed in a non-sustainable way by contamination and runoff regime changing due to site impermeabilization and to litter disposal. Those conditions represent considerable danger to men and ecosystem of the receiving body.

Sustainable practices appears as the best ones to be traced, with Low Impact Development (LID) signing as strategies that approximate the most to this goal. LID aims to achieve hydrologic functional landscape, performing close to natural conditions, by controlling not just the peak rate, but also, volume, frequency/duration and quality of the runoff. These developments repair the urban surfaces infiltration rates and encourage the reuse of water, minimizing the negative impacts, presenting economic savings and landscaping earnings when compared to conventional controls or to the use of associated BMPs. These strategies are encouraged, *a priori*, to new developments or redevelopments, even been acknowledged best results to retrofitting when compared to conventional controls.

This research aimed to assess the potential technical-institutional mechanisms, which may be applied in Brazil, especially to Porto Alegre, targeting the urban drainage sustainability, as well as, the results from the numerical emulation of LID

technologies to a hypothetical condo. For that reason, it was applied a different methodology of the existing manuals, due to its insufficiency in representing the behavior of stormwater controls.

The final results of the case study confirmed the necessity of revision of present urban drainage controls, as well as the application advantages of these techniques, which present a more integral and on-source approach.



## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	<b>XII</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....	<b>XV</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO</b> .....	<b>1</b>
<b>DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO ESCOAMENTO URBANO</b> .....	<b>5</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO</b> .....	<b>11</b>
<b>1</b> <b>DESENVOLVIMENTO URBANO E SEUS IMPACTOS</b> .....	<b>13</b>
1.1 <b>EFEITOS DO PROJETO URBANO SOBRE O CICLO</b>	
<b>HIDROLÓGICO</b> .....	<b>13</b>
1.2 <b>MEDIDAS DE CONTROLE E SUSTENTABILIDADE</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b> <b>PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS</b> .....	<b>27</b>
2.1 <b>GESTÃO E CONTROLE DOS IMPACTOS</b> .....	<b>29</b>
2.1.1            Dispositivos de Controle .....	<b>29</b>
2.1.2            Planejamento Local .....	<b>51</b>
2.2 <b>MECANISMOS INSTITUCIONAIS</b> .....	<b>82</b>
2.2.1            Legislação .....	<b>82</b>
2.2.2            Gestão.....	<b>87</b>
<b>3</b> <b>MECANISMOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA</b>	
<b>SUSTENTABILIDADE NA REALIDADE BRASILEIRA</b> .....	<b>97</b>
3.1 <b>CENÁRIO ATUAL</b> .....	<b>97</b>
3.1.1            Legislação .....	<b>98</b>
3.1.2            Gestão.....	<b>100</b>
3.2 <b>EXPERIÊNCIA AMERICANA</b> .....	<b>106</b>
3.2.1            Barreiras Regulamentárias .....	<b>107</b>

3.2.2	Barreiras Gerenciais .....	108
3.2.3	Ausência de Projetos Demonstrativos de LID .....	110
3.3	POTENCIAIS MECANISMOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE .....	112
3.3.1	Legislação .....	113
3.3.2	Gestão.....	116
3.4	PROPOSTA DE LEGISLAÇÕES DE DRENAGEM PARA NOVOS EMPREENDIMENTOS.....	120
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO: IMPLEMENTAÇÃO NUMÉRICA EM UM CONDOMÍNIO .....</b>	<b>125</b>
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO.....	125
4.1.1	Tipo de Solo .....	125
4.1.2	Cobertura do Solo .....	126
4.1.3	Cenários .....	126
4.1.4	Regime de Chuvas .....	127
4.1.5	Disposição do Condomínio .....	128
4.2	METODOLOGIA .....	134
4.2.1	Avaliação Hidrológica .....	134
4.2.2	Avaliação Financeira.....	138
4.2.3	Quantificação de Áreas “Verdes” .....	139
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	139
4.3.1	Avaliação Hidrológica .....	139
4.3.2	Avaliação Financeira.....	147
4.3.3	Quantificação de Áreas “Verdes” .....	152
	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>153</b>
	CONCLUSÕES.....	153
	RECOMENDAÇÕES .....	156
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>159</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>165</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Inundação em centros urbanos (Porto Alegre).....</b>	<b>2</b>
<b>Figura 2: Dejetos de ações antrópicas captadas de redes pluviais (Porto Alegre). .....</b>	<b>2</b>
<b>Figura 3: Despejo de águas pluviais em praias (Maceió). ....</b>	<b>3</b>
<b>Figura 4: Via expressa por sobre o rio Cheonggyecheon (Coréia do Sul). ....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 5: Visualização perspectiva da restauração do rio Cheonggyecheon (Seoul).....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 6: Planta original de Belo Horizonte: densificação e desprezo à hidrografia. ....</b>	<b>6</b>
<b>Figura 7: Reuso de águas pluviais e servidas em irrigação (Austrália). ....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 8: Custo do controle com relação à distância da fonte. ....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 9: Alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização incipiente quanto à gestão de águas.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 10: Alimentação de rios por recarga subterrânea .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 11: Utilização de vegetação no controle de águas pluviais (Melbourne, Austrália). ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 12: Banheiro Público Ecológico (Adachi, Japão).....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 13: Efeito do desenvolvimento urbano no regime hidrológico pelo uso de práticas higienistas.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 14: Respostas para as diferentes formas de controle do escoamento pluvial.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 15: Exemplo de IMP: Bio-retenção.....</b>	<b>31</b>

<b>Figura 16: Efeito do preparo do solo por compostagem .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 17: Planta baixa de uma bio-retenção (fora de escala).....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 18: Seção transversal (corte A-A) de uma bio-retenção (fora de escala). .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 19. Poço de infiltração. ....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 20: Plano de Infiltração.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 21: Espalhador de nível (Trincheira de britas).....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 22: Valo seco.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 23: Valo molhado.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 24: Trincheira de infiltração.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 25: Barril de chuva. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 26: Cisterna. ....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 27: Estudos com Pavimento Permeável em Porto Alegre.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 28: Jardim suspenso. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 29: Fundações de baixo impacto. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 30. Reservatório de detenção em loteamento em Porto Alegre. ....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 31: Detenção com uso para recreação em Porto Alegre.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 32: Layout típico de rua urbana (Seattle, E.U.A.).....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 33: Layout de rua planejada com estratégias de LID. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 34: Desconexão de áreas impermeáveis.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 35: Nivelamento do lote.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 36: Alteração da configuração do lote pela aplicação de LID.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 37: Melhoria do CN por técnicas de LID .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 38: Manutenção do Tc por técnicas de LID .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 39: Armazenamento necessário para manutenção da descarga de pico. 71</b>	
<b>Figura 40: Efeito de detenção adicional para controle do pico de descarga.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 41: Precipitação de frequência 10 anos e 1 hora de duração para o posto IPH (Porto Alegre).....</b>	<b>128</b>
<b>Figura 42: Configuração do condomínio (fora de escala). ....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 43: Configuração do Lote-A (fora de escala). ....</b>	<b>130</b>
<b>Figura 44: Configuração do Lote-B (fora de escala). ....</b>	<b>131</b>
<b>Figura 45: Configuração do Lote-C (fora de escala). ....</b>	<b>132</b>

<b>Figura 46: Configuração do Lote-D (fora de escala).</b> .....	<b>133</b>
<b>Figura 47: Ineficiência do uso do CN<sub>c</sub>.</b> .....	<b>140</b>
<b>Figura 48: Respostas do Lote-A para os diferentes cenários</b> .....	<b>141</b>
<b>Figura 49: Respostas do Lote-B para os diferentes cenários</b> .....	<b>141</b>
<b>Figura 50: Respostas do Lote-C para os diferentes cenários</b> .....	<b>142</b>
<b>Figura 51: Respostas do Lote-D para os diferentes cenários</b> .....	<b>142</b>
<b>Figura 52: Aproximação do pico para Lote-A pelo aumento da profundidade da bio-retenção</b> .....	<b>143</b>
<b>Figura 53: Comportamento das bio-retenções</b> .....	<b>144</b>
<b>Figura 54: Respostas do Lote-C para evento de (TR) 5 anos.</b> .....	<b>145</b>
<b>Figura 55: Respostas do Lote-C para evento de (TR) 50 anos.</b> .....	<b>146</b>
<b>Figura 56: Respostas do condomínio à chuva de projeto para os diferentes cenários.</b> .....	<b>147</b>
<b>Figura 57: Composição de custos – Cenário II.</b> .....	<b>148</b>
<b>Figura 58: Composição de custos – Cenário III.</b> .....	<b>148</b>
<b>Figura 59: Composição de custos – Cenário IV</b> .....	<b>149</b>
<b>Figura 60: Comparação de Custos por serviço.</b> .....	<b>150</b>
<b>Figura 61: Custos parciais de manutenção para os diferentes cenários.</b> .....	<b>150</b>
<b>Figura 62: Custos parciais para os diferentes cenários.</b> .....	<b>151</b>
<b>Figura 63: Quantificação de áreas “verdes” para os diferentes cenários.</b> .....	<b>152</b>

**LISTA DE QUADROS**

<b>QUADRO 1: ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS DE PRÁTICAS DE LID E CONVENCIONAIS. ....</b>	<b>30</b>
<b>QUADRO 2: DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE IMPS.....</b>	<b>33</b>
<b>QUADRO 3: COMPONENTES DE PROJETO DE BIO-RETENÇÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>QUADRO 4: COMPONENTES DE PROJETO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO. ....</b>	<b>39</b>
<b>QUADRO 5: : COMPONENTES DE PROJETO DE PLANOS DE INFILTRAÇÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>QUADRO 6: CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE VALOS DE INFILTRAÇÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>QUADRO 7: COMPONENTES DE PROJETO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>QUADRO 8: TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO DE LID PARA REDUÇÃO DO CN DO LOTE.....</b>	<b>68</b>
<b>QUADRO 9: TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO PARA MANUTENÇÃO DO TC DO LOTE.....</b>	<b>69</b>
<b>QUADRO 10: RESTRIÇÕES PARA APLICAÇÃO DE IMPS.....</b>	<b>74</b>
<b>QUADRO 11: ATRIBUTOS DE MODELOS PARA AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA.....</b>	<b>81</b>
<b>QUADRO 12: COMPONENTES DE REGULAMENTAÇÕES DE ZONEAMENTO .....</b>	<b>84</b>
<b>QUADRO 13: OPÇÕES ALTERNATIVAS DE LID PARA ZONEAMENTO.....</b>	<b>85</b>

**QUADRO 14: POTENCIAL CRONOGRAMA PARA IMPLEMENTAÇÃO  
DA SUSTENTABILIDADE ..... 113**

**LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1: EFICIÊNCIA DE IMPS NA REMOÇÃO DE POLUENTES (%)</b>	<b>32</b>
<b>TABELA 2: VOLUMES ESCOADOS PARA FORA DO LOTE. ....</b>	<b>145</b>
<b>TABELA 3: VOLUMES ESCOADOS PARA FORA DO CONDOMÍNIO. ...</b>	<b>147</b>



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- BMP – Práticas de Gestão de águas pluviais em nível de lote ou loteamento.
- CMDUA – Conselho Municipal de Desenvolvimento Urbano Ambiental
- CN – Parâmetro Curva-Número do Soil Conservation Service (SCS).
- CN<sub>c</sub> – CN médio
- CN<sub>p</sub> – CN permeável
- CREA – Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura.
- CTHidro – Fundo de Recursos Hídricos
- DEP – Departamento de Esgotos Pluviais.
- DMAE – Departamento Municipal de Águas e Esgotos
- DOP – Departamento de Obras e Projetos do DEP.
- HEC-1 – Modelo hidrológico do Hydrologic Engineering Center do USACE.
- HSPF - Hydrologic Simulation Program – FORTRAN.
- IGP – Índice Geral de Preços
- IMP – Práticas de Gestão Integrada de águas pluviais próximas às fontes.
- IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas.
- LID – Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto.
- MR – Microrreservatório.
- NRCS – Natural Resources Conservation Services.
- OSD – Detenções.
- PDDUA - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental.
- PDDrU - Plano Diretor de Drenagem Urbana.
- P<sub>imp</sub> – Percentual de áreas impermeáveis

SINDUSCON – Sindicato das Indústrias de Construção.

SMAM – Secretaria Municipal do Meio Ambiente

SMOV – Secretaria Municipal de Obras Viárias.

SWMM – Storm Water Management Model.

Tc – Tempo de Concentração.

TR – Tempo de Retorno

TR-20 – Método de propagação pelo hidrograma unitário triangular do SCS.

TR-55 – Método de separação do escoamento do SCS.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

USACE – Corpo Militar de Engenheiros dos Estados Unidos.

USEPA – Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos.

WSUD – Projeto Urbano Hidricamente Sensível.

**LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO A - DETERMINAÇÃO DO EVENTO DE CHUVA DE PROJETO.</b>	<b>166</b>
<b>ANEXO B –AUTORIZAÇÃO A DESVIOS DA LEGISLAÇÃO PARA EMPREGO DE LID –CIDADE DE ISSAQUAH .....</b>	<b>168</b>
<b>ANEXO C – ESTABELECIMENTO DE PADRÕES DE PROJETO DE LID - CONDADO ISLAND .....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXO D – DETALHAMENTO DA AVALIAÇÃO FINANCEIRA .....</b>	<b>172</b>
<b>ANEXO D1 – COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS E CUSTOS UNITÁRIOS.....</b>	<b>173</b>
<b>ANEXO D2 – ORÇAMENTO POR CENÁRIO .....</b>	<b>174</b>

## **INTRODUÇÃO**

### **IMPACTOS DO DESENVOLVIMENTO URBANO**

O quadro crescente de inundações (Figura 1) e secas reportadas nos grandes centros (Fleury, 2004 e Baptista *et al.*, 1998), associado à deterioração da qualidade dos recursos naturais provocada por ações antrópicas (Figura 2), configura a situação enfrentada pelo homem para sua sobrevivência. A captação de água em pontos cada vez mais distantes e a necessidade de aprender a conviver com situações críticas de escassez e de fartura momentâneas, caracterizadas por custos marginais crescentes, aparecem como alternativas decorrentes do tratamento vigente nestes locais.



Figura 1: Inundação em centros urbanos (Porto Alegre).

(Fonte: ABRH, 2004)



Figura 2: Dejetos de ações antrópicas captadas de redes pluviais (Porto Alegre).

(Fonte: Neves, 2005)

Segundo National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure (2003), as cargas anuais de poluição nos recursos hídricos provenientes das águas pluviais podem ser similares às de descargas industriais e de águas servidas para os tratamentos convencionais. O emprego destas técnicas, *e.g.*, utilização de estações de

tratamento de água, não elimina as substâncias mais perigosas. Observa-se, por exemplo, que águas pluviais conduzem metais pesados e outros elementos tóxicos não-degradáveis para o ambiente (Figura 3) e, que descargas industriais e atividades de construção causam contaminação química a águas superficiais e a aquíferos. A resposta da natureza aparece na forma de devastação florestal, extinção de espécies, desertificação, poluição de áreas nunca previamente tocadas, mudanças climáticas, etc. (Niemczynowicz, 1993).



Figura 3: Despejo de águas pluviais em praias (Maceió).

(Fonte: Callado, 2004)

Niemczynowicz (1993) enumera alguns efeitos das águas pluviais sobre a gestão convencionalmente aplicada:

- (a) Problemas de tráfego causados por inundações de ruas (Figura 1);
- (b) Perdas econômicas causadas por inundações de casas e solos;

- (c) Comprometimento do desempenho de estações de tratamento durante as chuvas;
- (d) Risco aumentado de contaminação de águas receptoras por limpeza das superfícies pela água das chuvas (Figura 3).

Diante destes efeitos, áreas têm sido demolidas, em virtude de implantação de medidas mitigadoras, para recreação e controle do escoamento pluvial, representando solução onerosa para o poder público. Um exemplo bastante interessante dos gastos do poder público para mitigação dos impactos e melhoria de condições ambientais e paisagísticas remete ao projeto de restauração do rio Cheonggyecheon, na cidade de Seul, apresentado por Lee (2004) com custos aproximados de US\$ 120 milhões, onde uma via expressa e uma avenida (Figura 4), com aproximadamente 6 km, estão sendo removidas (Figura 5).



Figura 4: Via expressa por sobre o rio Cheonggyecheon (Coréia do Sul).



Figura 5: Visualização perspectiva da restauração do rio Cheonggyecheon (Seoul).

(Fonte: Lee, 2004, p. 34)

Com base nos impactos supracitados conclui-se que mudanças necessitam ser realizadas para o convívio harmônico do homem com o meio ambiente, caso contrário, o meio, por insuficiência, não mais responderá às carências humanas.

## **DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO ESCOAMENTO URBANO**

A necessidade de edificar infra-estrutura capaz de garantir a sobrevivência do homem em uma mesma região data dos tempos em que a maneira nômade de viver foi substituída pelo sedentarismo. Desde então, a sustentabilidade do meio vem sendo almejada, *i.e.*, provimento de condições que garantam a manutenção das características naturais do ambiente a custos admissíveis, permitindo que gerações futuras usufruam de situação similar à existente, o que possibilitaria (Pompêo, 2000) a existência de relações ótimas entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano



artificial e a sociedade. Provavelmente, as maiores dificuldades existentes na fixação desta espécie residam na artificialidade dos sistemas urbanos, onde o homem altera a natureza em vez de usufruir os processos e tratamentos naturais (Figura 6). Possivelmente uma abordagem ambiental poupasse as construções e reconstruções necessárias para trazer as cidades artificiais a habitats mais naturais, paisagísticos e econômicos.

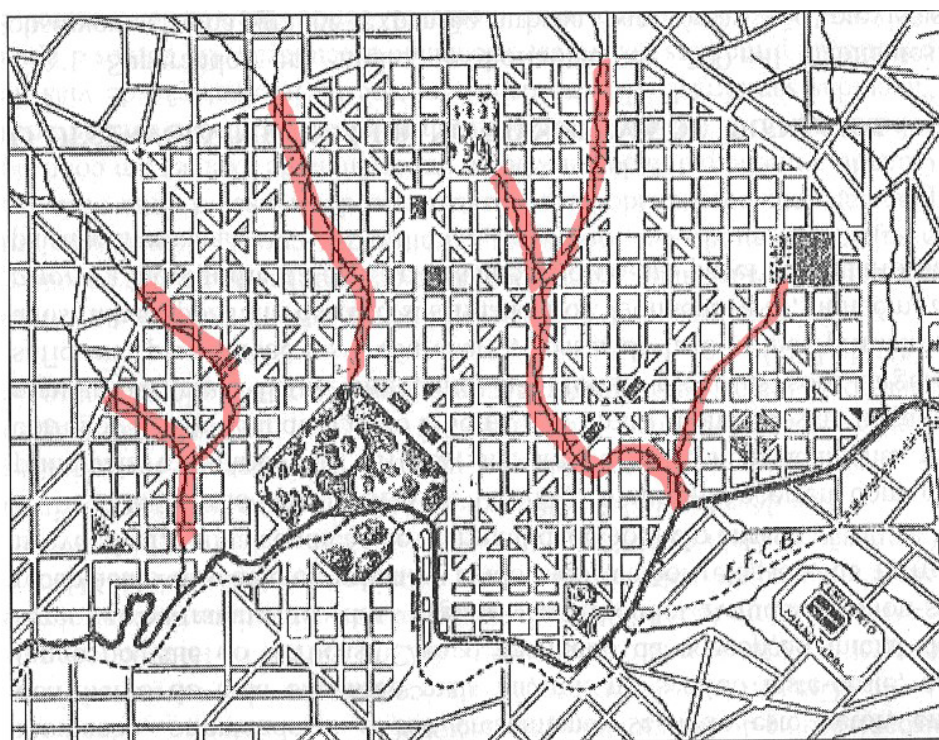


Figura 6: Planta original de Belo Horizonte: densificação e desprezo à hidrografia.

(Fonte: Baptista et al., 1998, p. 41)

A segregação de áreas para solução destes problemas figurava como caminho mais racional até o momento que, tanto financeiramente como ecologicamente, a adoção de soluções tradicionais passou a representar custo muito alto a ser pago. A necessidade de uma abordagem mais integradora e multidisciplinar passou a ser observada como caminho para amainar estas dificuldades, sendo a

reprodução do comportamento natural, *i.e.*, comportamento de pré-urbanização, a solução que melhor se adapta de forma geral.

Niemczynowicz (1993) afirma que a gestão de água só pode ser eficiente em termos de restrições ambientais e satisfação das necessidades humanas se estiver integrada com a gestão de outros recursos e atividades humanas, como resíduos sólidos, sistemas de produção industrial, produção e consumo de energia, sistemas de transportes, entre outras. Este autor enfatiza que mesmo países altamente desenvolvidos, que dispõem de infra-estrutura cara e sofisticada, continuam enfrentando vários problemas para satisfazer necessidades básicas humanas com respeito a suprimento de água potável, deposição de lixo e águas servidas, manutenção e reconstrução dos dispositivos existentes, entre outros.

NSW Environment Protection Authority (1997) *apud* Australia (2002) ressalta que, para o desenvolvimento de gestão apropriada, deve-se levar em consideração as complexas interações existentes entre hidrologia, geomorfologia, ecologia, solo, uso da terra e características culturais além de sua rede de curso d'água. Falha na interpretação dessas interações pode resultar em impacto ambiental maior que o obtido para a situação sem tratamento algum.

MacCormick (1995) *apud* Australia (2002) afirma que águas pluviais e servidas, tratadas, podem ser exploradas de forma ambientalmente sensível com boa relação custo-efetividade para novas edificações urbanas. Com base em técnicas de gestão integrada e investimento estratégico na tecnologia de reuso de águas pluviais

e servidas (Figura 7), pode-se transformar problemas de qualidade de águas pluviais em oportunidades de desenvolvimento ambientalmente sustentável.



Figura 7: Reuso de águas pluviais e servidas em irrigação (Austrália).

(Fonte: Australia, 2002, p. 32)

A crítica concernente à prática convencional seria quanto à utilização de medidas que trabalham na reação em vez da prevenção, na diluição de efluentes em vez de concentração seletiva e reuso (Niemczynowicz, 1993 e Pyzoha, 1994). Para tanto, novas soluções alicerçadas em uma aproximação ecológica e ambiental sustentável, com base no entendimento do ciclo do material e do fluxo de energia, devem ser encontradas, a fim de que cesse a degradação do ambiente, sendo, obviamente, opções economicamente eficientes para ser sustentadas por países em desenvolvimento (Niemczynowicz, 1993).

Quanto a este aspecto, estudos comprovam (National Guide to Sustainable Municipal Infrastructure, 2003) que quanto mais distante o tratamento se encontrar da fonte, menor a relação custo-efetividade das medidas (Figura 8). 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, *i.e.*, canalização, impermeabilização de áreas e aprofundamento de rios.

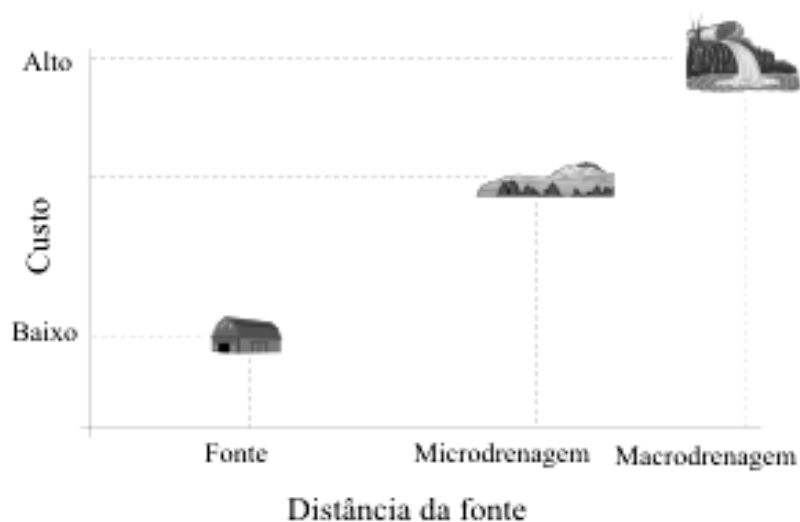


Figura 8: Custo do controle com relação à distância da fonte.

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p. 23)

Manuais australianos (Australia, 2002) apontam como solução ótima para a gestão de um aumento de escoamento o encorajamento da infiltração, armazenamento e reuso de água. Diante deste quadro, as estratégias americanas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (*Low Impact Development, LID*) atuam estimulando processos físicos, químicos e biológicos naturais, minimizando impactos ambientais e gastos com sistemas de tratamento (Natural Resources Defense Council, 2004b). 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.

Baptista e Nascimento (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.

LID surge como caminho a ser trilhado por abordar todas estas questões, revolucionando a forma de solucionar a drenagem urbana, e toda a engenharia de controle e tratamento de águas pluviais e servidas. O interesse que culminou no desenvolvimento deste estudo surgiu da necessidade de identificar práticas sustentáveis e adaptá-las às carências humanas, em especial à realidade nacional onde são julgadas avançadas as práticas que controlam a vazão máxima do escoamento superficial.

Tendo em vista que o tratamento convencional se apresenta incipiente quanto à sua tentativa de devolver a água ao ambiente em condições de qualidade e quantidade compatíveis com a sua extração, a utilização destas estratégias deve ser forçada, principalmente em novos conjuntos habitacionais, por intermédio de regulamentações, como as propostas neste estudo. A aplicação destas para empreendimentos anteriores à sua implementação se mostra difícil, embora possua maior viabilidade que a aplicação de técnicas convencionais (United States, 2004), senão para re-desenvolvimentos (reformas). Portanto, planejamento e práticas convencionais necessitam ser ainda pensados e utilizados tanto para a micro quanto para a macrodrenagem.

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste estudo é identificar e avaliar os mecanismos técnico-institucionais que possibilitem a implantação de uma drenagem urbana sustentável em novas edificações.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- ✓ Revisar o estado atual do controle de águas pluviais para novas edificações, especialmente, em países onde são aplicadas práticas sustentáveis, comparando à realidade brasileira.
- ✓ Propor potenciais mecanismos de controle sustentável de águas pluviais para novas edificações no Brasil, em particular na cidade de Porto Alegre, com base na observação de experiências de outros países.
- ✓ Estudar os resultados obtidos da simulação numérica hidrológica e financeira da implantação do mecanismo de legislação proposto a um condomínio hipotético em Porto Alegre, comparando à ausência de controle do escoamento no loteamento e ao controle convencional do escoamento.

## **DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO**

O trabalho foi dividido em introdução, 4 (quatro) capítulos contendo o estudo realizado e conclusão arrematando as respostas obtidas do mesmo. A

introdução e os dois primeiros responsáveis por realizar uma revisão do desenvolvimento urbano e seus impactos, e das práticas que mais se aproximam da sustentabilidade da drenagem urbana. No capítulo três, buscou-se avaliar a viabilidade de aplicação destas práticas à realidade brasileira, em especial à Porto Alegre, além de propor mecanismos de legislação e alteração na gestão de águas pluviais para novos empreendimentos. O capítulo quatro apresenta a aplicação destas práticas, por intermédio de simulação numérica, a um condomínio hipotético na cidade de Porto Alegre, incluindo avaliações hidrológicas, financeiras e de preservação de áreas vegetadas do emprego destas com relação a práticas usuais. Fechando o trabalho, as conclusões obtidas são descritas e recomendações a futuros estudos são realizadas.

## 1 DESENVOLVIMENTO URBANO E SEUS IMPACTOS

### 1.1 EFEITOS DO PROJETO URBANO SOBRE O CICLO HIDROLÓGICO

A crescente dinâmica de expansão urbana nas últimas décadas tem produzido grandes impactos em países em desenvolvimento, que não possuem infraestrutura desenvolvida para dar suporte a esta urbanização.

Uma ampla gama de impactos negativos decorrentes principalmente da urbanização caracterizada pela má gestão da água é conhecida (Figura 9), sendo os principais agentes intervenientes no balanço hídrico natural a impermeabilização de áreas e a ausência de aplicação de design urbano, *i.e.*, medidas ambientalmente sustentáveis. O ciclo hidrológico sofre os seguintes impactos (Tucci, 2003):

- a) possível aumento de precipitação, devido ao maior aquecimento nos grandes centros urbanos, provavelmente pela coloração que o asfalto possui em detrimento à natural (Silveira, 1999);



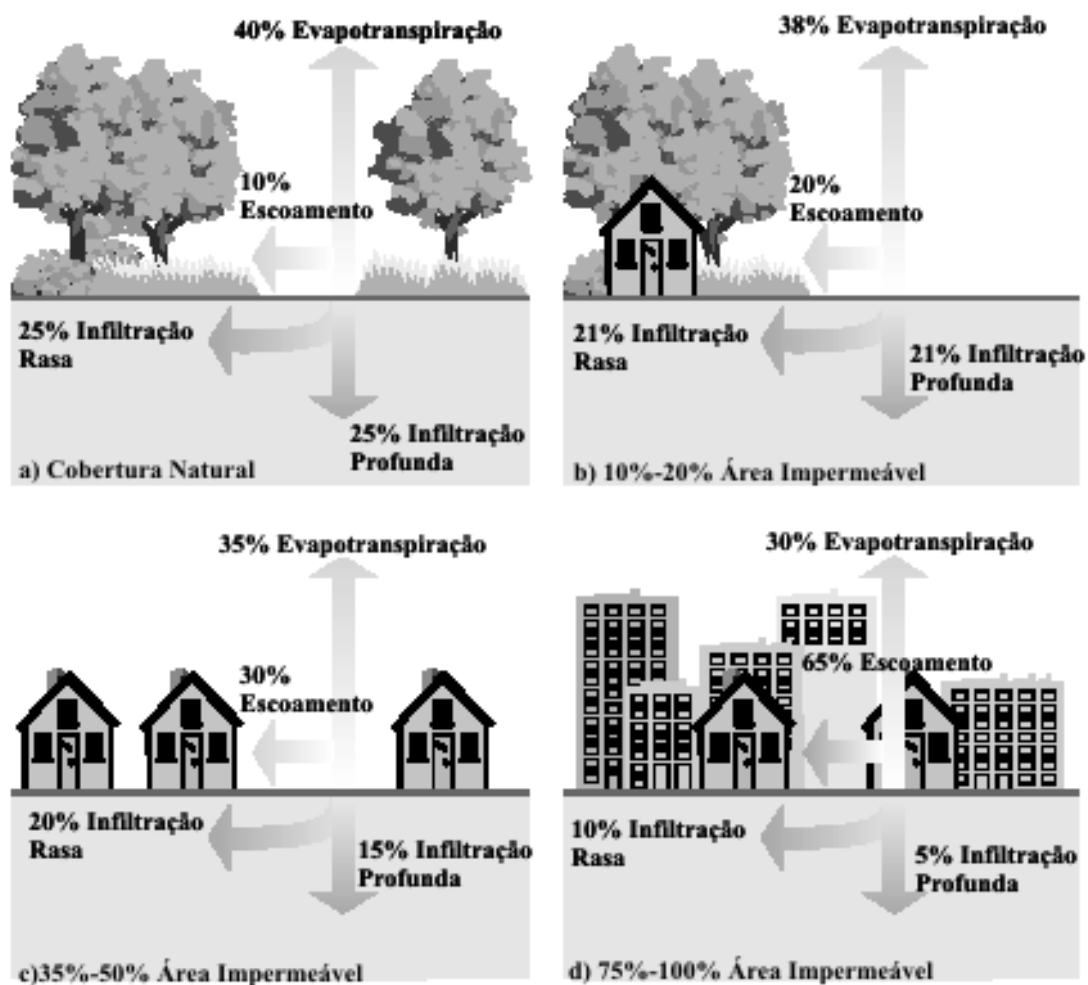


Figura 9: Alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização incipiente quanto à gestão de águas

(Fonte: FISRWG *apud* Prince George's County, 1999a, p. 48)

- 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.

Os fatores, dentre os citados, que mais diretamente interferem na vida em centros urbanos seriam o escoamento superficial e a recarga subterrânea. Obras hidráulicas de aperfeiçoamento da drenagem têm levado a quantidade de escoamento a aumentar em volume e velocidade, causando inundações, erosões de margens de rios e diminuição de recarga de aquíferos, resultando em deterioração da qualidade da água. Com o aumento da impermeabilidade do solo e a conseqüente diminuição do tempo de concentração ( $T_c$ ), *i.e.*, tempo idealizado que leva a água para se deslocar do ponto hidráulicamente mais distante ao exutório da bacia, os picos se apresentam maiores e antecipados com relação à sua configuração original, impedindo que a recarga subterrânea seja a mesma. Com isso, o lençol freático que se conecta a rios adjacentes, providenciando alimentação a estes em períodos secos (Figura 10), além de manter o fluxo de base essencial e a integridade biológica e de habitat de rios, sofre danos por insuficiência de aporte de água. Rios de cabeceira com pouca contribuição de áreas tributárias são especialmente sensíveis a mudanças localizadas na recarga subterrânea e ao fluxo de base (Prince George's County, 1999a).

Com a ausência de tratamento natural exercida pela própria bacia no momento que água infiltra e percola, a qualidade de água dos rios e mananciais passa

a estar comprometida, sendo necessárias captações em outros corpos hídricos, ou em pontos cada vez mais distantes. Aliado a estes problemas, o crescimento da população acarreta em necessidade crescente de maiores quantidades de água.

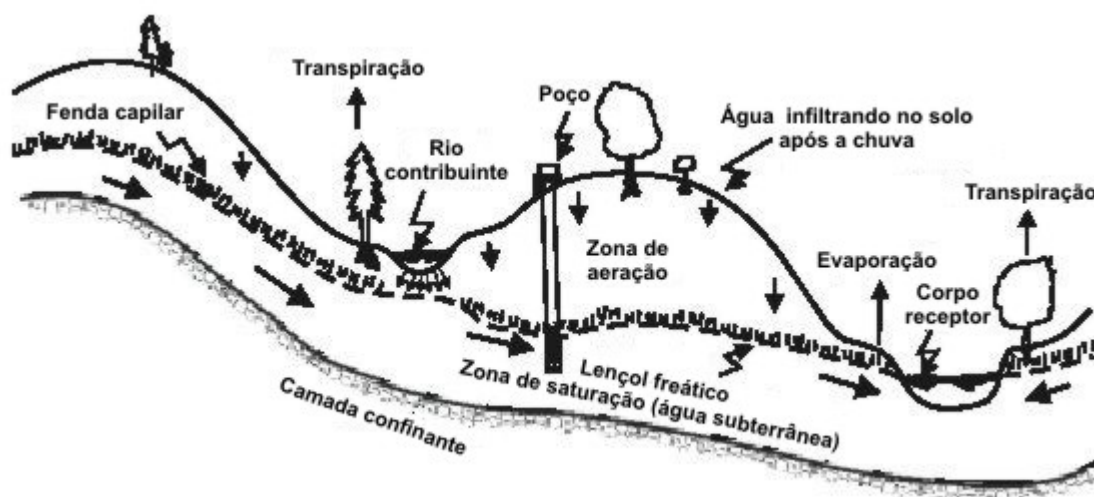


Figura 10: Alimentação de rios por recarga subterrânea

(Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 8)

Diante da alteração no regime hidrológico relatada, a revisão das medidas de controle do escoamento, bem com, sua aproximação à sustentabilidade ambiental e financeira, se apresenta interessante.

## 1.2 MEDIDAS DE CONTROLE E SUSTENTABILIDADE

Historicamente pode se observar que poucos exemplos de inundações produzidas pelo desenvolvimento da drenagem urbana, especialmente antes dos anos 60, são encontrados na maioria dos países desenvolvidos. Estes mesmos países, já na década de 70, identificaram que este tipo de política se mostrava insustentável economicamente, alterando a forma de gerenciar a drenagem urbana para controle

*off-line*, i.e., que intercepte parte do fluxo que seguiria normalmente pelos condutos, e medidas de controle de volume por detenções urbanas (Silveira, 2000). Dentre estas técnicas, conhecidas também por *Best Management Practices* (BMPs), microrreservatórios (MRs) e detenções (OSDs) figuram como as mais utilizadas em países como Reino Unido (Faulkner, 1999) e Austrália (Roesner & Brashear, 1999 *apud* Department of Environment and Heritage, 2002). Estas práticas ainda se encontram em operação e são estimuladas em muitos países, como o Brasil (Porto Alegre e São Paulo), enquanto as realidades australiana, americana e canadense, por exemplo, já confrontam o problema por diferentes caminhos, procurando aproximar ao máximo o comportamento das águas pluviais às condições naturais do local prévias à ocupação do homem. Faulkner (1999), com base em experiências observadas no Reino Unido, critica a aplicação comum de normas que forçam a utilização de MRs para um só tipo de dimensionamento, por exemplo, levando em conta detenções para precipitações menos frequentes (alto período de retorno), por três motivos:

- a) para padronização de MRs, sem utilização de controladores do tempo de saída do escoamento proveniente dos MRs ao longo dos condutos pluviais, tornam-se grandes as chances de coincidir num mesmo ponto o volume recebido de áreas tributárias a montante e a devolução de água de MRs presentes nesta localização, acarretando em picos de vazão ainda maiores que sem a utilização de dispositivo algum;

- b) precipitações de alta frequência, ao não serem retidas, levam consigo alto teor de poluição (*first flush*), não tendo o dispositivo contribuído para o controle qualitativo;
- c) MRs apresentam altos custos de operação e manutenção comparados ao emprego de dispositivos mais próximos à fonte de geração de impactos, sendo estes diretamente onerados pelo proprietário do local, que ao longo do tempo passam a não ser executados levando o dispositivo a deixar de exercer a função para o qual foi construído.

Este mesmo autor sugere algum relaxamento nas aplicações de normas, possibilitando que alguns proprietários não instalem MRs para precipitações de alta frequência, fato que necessitaria ser avaliado, principalmente quanto à escolha dos proprietários que deveriam ser poupados deste ônus.

A crítica pertinente à utilização de detenções reside na característica artificial que estas apresentam, por tratar a questão controlando apenas o pico de vazão, redistribuindo-a, o que não contribui para manutenção de taxas naturais de abstração de chuvas, *i.e.*, processos físicos em que água precipitada não contribui para o escoamento superficial, *e.g.*, infiltração, e conseqüentemente para a diminuição de volumes a quantidades absorvidas previamente ao desenvolvimento.

A evolução da drenagem urbana retrata bem a forma equivocada como a busca por soluções para o curto-prazo que analisam apenas as águas pluviais era e ainda é utilizada em detrimento de uma solução para o longo-prazo com visão mais integradora, e análises quanto às interfaces com outras áreas, *e.g.*, resíduos sólidos e

planejamento urbano. A aplicação de alternativas proativas aparece como saída mais eficaz para redução de custos de implantação de medidas de controle de impactos ambientais.

Niemczynowicz (1993), já no início da década de 90, defendia a observação de expressões apropriadas aplicáveis em diferentes regiões, podendo estas nortear o desenvolvimento de novas tecnologias, como as seguintes:

- ✓ Abordagem integrada de sistema, em contraste com uma abordagem puramente técnica.
- ✓ Tratamento da questão em pequena escala, sendo mais barato que o tratamento em larga-escala. As fontes de águas servidas se encontram mais próximas, estações de tratamento se tornam menos vulneráveis, além de ser possível projetar estações ajustadas a necessidades e condições locais.
- ✓ Controle na fonte, com menor custo que uma abordagem de controle a jusante.
- ✓ Deposição local e reuso em vez de exploração e estragos. Volumes de águas pluviais, águas servidas e lixo podem ser reduzidos na fonte pela mudança de rotinas no estágio de produção ou deposição local. Águas podem ser reutilizadas para indústrias após tratamento local; lixo pode ser reutilizado após separação na fonte; cinzas podem ser utilizadas para construção de estradas; metais pesados podem ser extraídos de efluentes

utilizando bactérias, etc.. Soluções tradicionais misturam muitos poluentes tornando difícil o reuso. Separação no estágio de produção e utilização de sistemas biológicos que agem seletivamente seriam opções a serem avaliadas.

- ✓ Prevenção da poluição em vez de reação a problemas.
  
- ✓ Abordagem ecológica e utilização de sistemas biológicos. Por exemplo, atividade biológica na parte superior do solo pode criar condições físico-químicas similares às melhores estações de tratamento. Bactérias, algas, plantas e animais podem constituir um sistema que remove seletivamente e concentra todos os poluentes tanto em águas pluviais quanto em servidas. Sistemas ecológicos naturais ou artificialmente criados podem ser utilizados no tratamento de água.

Algumas condições precisam ser completadas antes que novas tecnologias possam ser largamente aplicadas. Primeiro, novas abordagens e tecnologias devem estar integradas com a tecnologia e a infra-estrutura tradicional existente em vez de lutar contra ou tentar substituí-la. Por isso, prioritariamente se objetiva estudar o controle a ser exercido para futuros empreendimentos e reformas, relegando para o futuro a avaliação da abordagem apropriada para alterações em edificações existentes. Segundo, a gestão de águas servidas deve estar integrada com a gestão de todos os outros tipos de águas e resíduos, na captação e gestão de todas as atividades humanas como produção industrial, produção energética e consumo, transportes, entre outras. (Niemczynowicz, 1993).

Talvez um enfoque mais integrador com base no desempenho quanto às metas de (a) manutenção do equilíbrio do balanço hídrico, (b) captação de água para consumo e (c) preservação da qualidade, correntemente empregado nos manuais australianos (Australia, 2002), em detrimento a uma visão que considera qualidade e quantidade seja mais coerente diante dos objetivos de sustentabilidade a serem alcançados pela utilização de medidas de controle. Seguindo este enfoque, a necessidade de controles das águas pluviais quanto ao balanço hídrico, evidenciado pelas inundações urbanas (Fleury, 2004 e Baptista *et al.* 2004); consumo, pelas secas nordestinas (Burgierman, 2002) e captações distantes em São Paulo (Victorino, 2002) e; qualidade, pelo assoreamento de estuários (Souza *et al.*, 2005) e pela proliferação de endemias de veiculação hídrica (Pedrosa, 1996), se mostra urgente na realidade brasileira.

Atualmente na Austrália, estão em vigor as estratégias de Projeto Urbano Hidricamente Sensível (*Water Sensitive Urban Design*, WSUD) que procuram tornar o caminho percorrido pela água o mais próximo possível da percepção da sociedade em contraposição à utilização de condutos e sarjetas, incentivando o emprego de técnicas que imitem o fluxo natural. Emprego da vegetação, em especial a natural, é o maior aliado do plano (Figura 11), com ênfase à utilização de áreas para infiltração e criação de banhados, sendo utilizada por planejadores e arquitetos paisagistas para desenvolver vazões de pré-urbanização (Australia, 2002). Neste país com características climáticas parecidas com as brasileiras, práticas de reuso são conhecidas, como também em residências na Alemanha (Herrmann & Schmida, 1999) e até aplicações em estádios de futebol no Japão (Zaizen *et al.*, 1999), dentre outros usos (Figura 12).





Figura 11: Utilização de vegetação no controle de águas pluviais (Melbourne, Austrália).

(Fonte: Association of Bayside Municipalities, 2001, p. 25)

Nos Estados Unidos vêm sendo empregadas práticas similares sob a alcunha de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (*Low-Impact Development, LID*), procurando aproximar ainda mais a drenagem urbana da drenagem natural, incentivando práticas de reuso e infiltração. Esta prática apresenta bons resultados financeira e ambientalmente para novos empreendimentos (U.S. Environmental Protection Agency, 2000, U.S. Department of Housing and Urban Development, 2003 e NAHB Research Center, 2004) quando comparados às práticas americanas convencionais (BMPs), *i.e.*, emprego de práticas de controle por lote ou loteamento, principalmente detenções e retenções:

- a) economias no custo de implantação dos lotes;
- b) redução ou até eliminação da necessidade de detenções com conseqüente benefício pela utilização desta área para outros fins;
- c) economias para o empreendedor de 72% para construção de controles de águas pluviais e 20% para custos de construção totais;

- d) 62% de preservação de áreas “abertas” naturais;
- e) eliminação de condutos pluviais e;
- f) 0% de efetividade de áreas impermeáveis, *i.e.*, áreas impermeáveis que não possuem seu escoamento controlado.

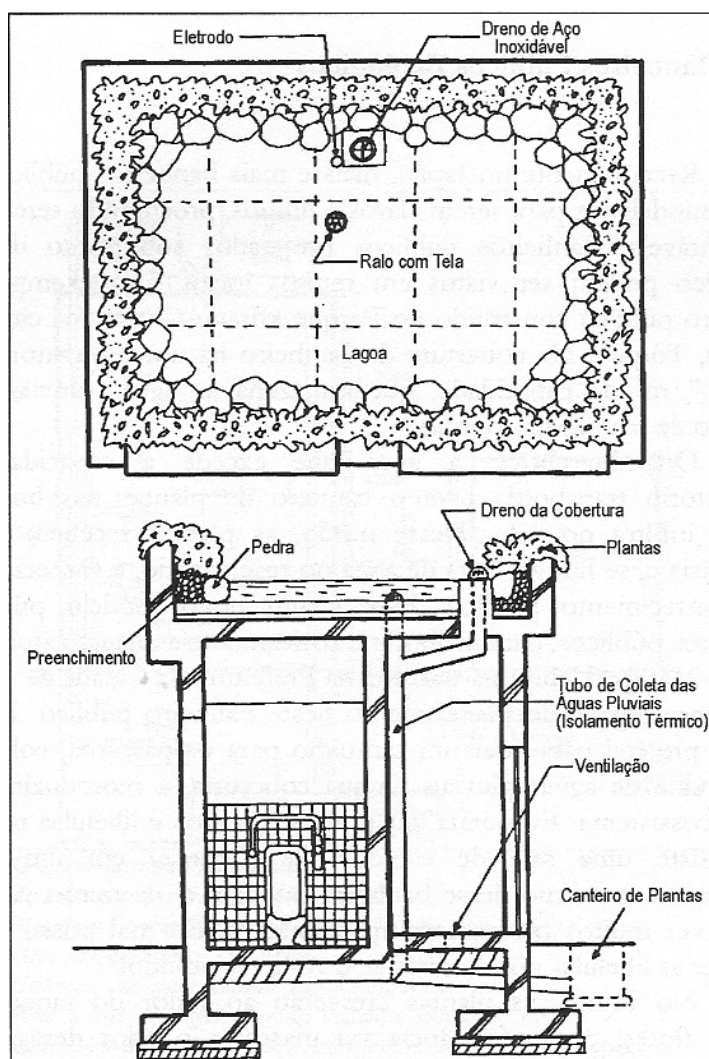


Figura 12: Banheiro Público Ecológico (Adachi, Japão).

(Fonte: Fendrich & Oliynik, 2002, p. 158)

Compreender a resposta de componentes hidrológicos a mudanças de uso de terra e a práticas de desenvolvimento locais é a base para o desenvolvimento de

programas exitosos de gestão de bacia e de águas pluviais. Uma forma de interpretar a resposta hidrológica é a análise comparativa de hidrogramas.

Hidrogramas para áreas desenvolvidas sem controle (Figura 13) apresentam menores tempos de concentração e, conseqüentemente, menores tempos de pico, aumento significativo na descarga de pico e no volume, além de maior duração de descarga com relação ao hidrograma para a situação natural.

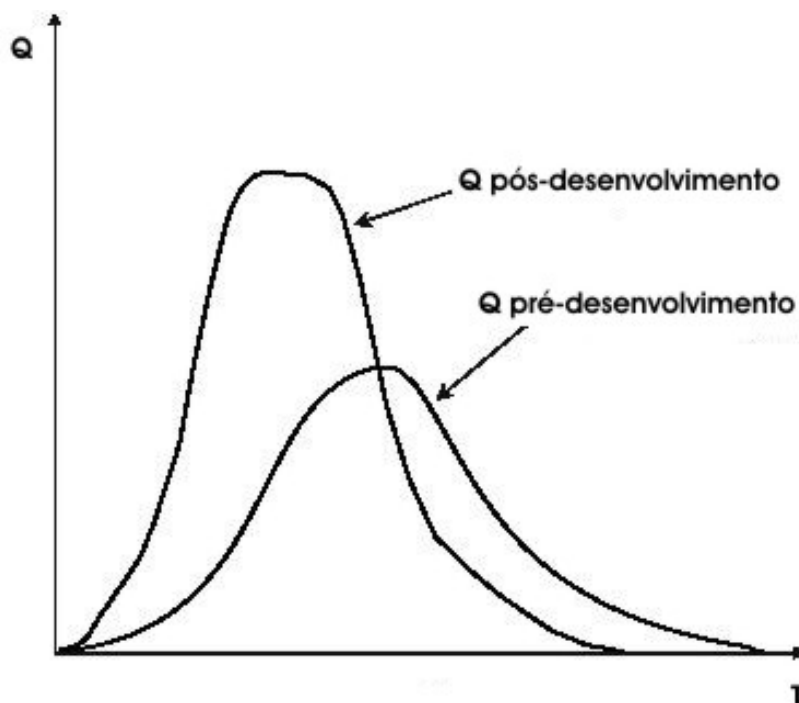


Figura 13: Efeito do desenvolvimento urbano no regime hidrológico pelo uso de práticas higienistas.

(Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 6)

Hidrogramas para áreas desenvolvidas com controle por BMPs (Figura 14) apresentam vazão de pico iguais às de pré-desenvolvimento, aumento no volume e duração do escoamento com relação à condição de pré-desenvolvimento.

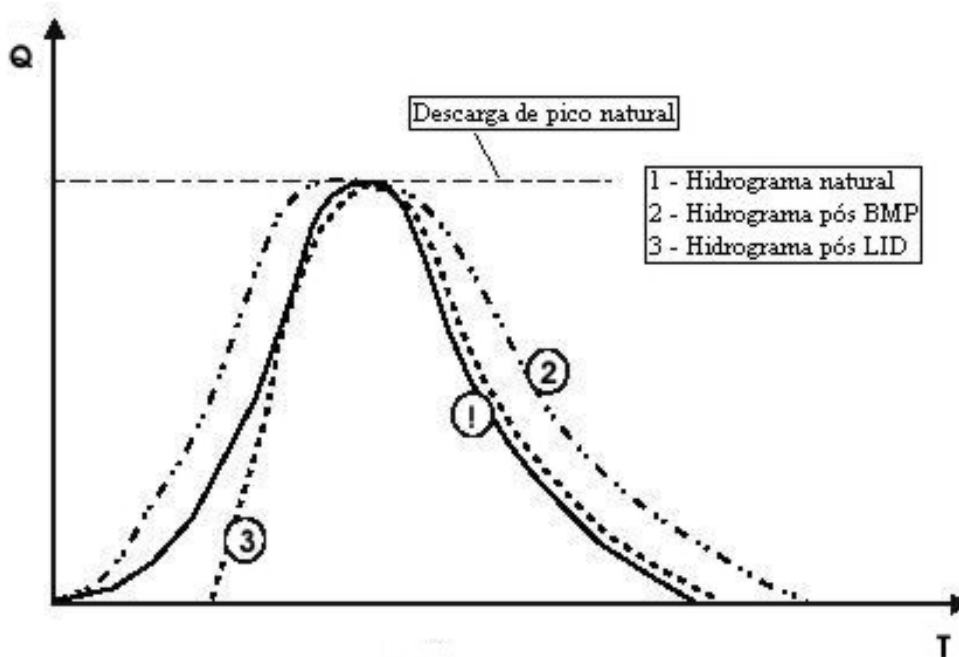


Figura 14: Respostas para as diferentes formas de controle do escoamento pluvial.

(Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 9)

Hidrogramas para áreas desenvolvidas com controle de LID (Figura 14) apresentam escoamento somente a partir de um certo período de tempo, sendo armazenada a primeira descarga (*first flush*), com vazões de pico iguais controladas para coincidir com as de pré-desenvolvimento e volume e duração também bem próximos.

Com a prática de LID, a reprodução da hidrologia de pré-desenvolvimento é aproximada, apresentando efeito positivo significativo na estabilidade de canais, estrutura de habitat, fluxos de base e qualidade de água. Observações quanto a peixes macro-invertebrados têm demonstrado que boa qualidade de água não é o único determinante quanto à integridade biológica da biota aquática (Souza *et al.*, 2004). De fato, condições precárias de comunidades biológicas são atribuídas a estruturas de habitat precárias (cobertura, substrato ou sedimentação) ou hidrologia (fluxo de base

inadequado, fluxos termais, ou hidrologia de curta duração). Provavelmente a tecnologia de detenções seja limitada na habilidade tanto de proteger a biota aquática como de providenciar boa qualidade de água (Prince George's County, 1999a).

O planejamento da drenagem realizado apenas no âmbito da quantidade se compromete pela falta de tratamento qualitativo necessário, por entupimentos nos condutos, pela presença de folhagens além de outros materiais, como sedimentos e até resíduos sólidos (Figura 2) (Australia, 2002 e Neves, 2005). Portanto, revisões nas propostas atualmente vigentes na realidade brasileira necessitam ser efetuadas para que se possam aplicar técnicas mais próximas tanto quanto o possível da sustentabilidade.

Frente aos melhores resultados da prática de LID em outros países ante os resultados obtidos pela prática vigente no país, seja tratamento por canalização e aprofundamento de rios na macrodrenagem ou detenções na microdrenagem, além do conjunto de metas que estas estratégias objetivam, mostra-se interessante observar como foram alcançados tais resultados, sendo esta tecnologia adotada para execução do trabalho.

## 2 PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

Partindo do princípio que o meio ambiente se apresenta auto-sustentável para regiões que não sofrem influência da ação antrópica, a tentativa de mantê-lo nesse estado, associado à presença do homem, mostra-se possível. A preservação dos fatores intervenientes no equilíbrio deve ser efetuada para que este objetivo seja alcançado, *e.g.*, para o insumo água, os padrões de qualidade e de disponibilidade no tempo. Portanto, a criação da paisagem hidrológica funcional que imite a natureza se apresenta como meta, podendo ser alcançada por intermédio de (Prince George's County, 1999a):

- a) Minimização de impactos por águas pluviais, incluindo diminuição de áreas impermeáveis, conservação de recursos e ecossistemas naturais, manutenção de cursos de drenagem, redução de encanamentos e minimização de movimentação de terra, ainda no planejamento;
- b) Provimento de medidas de armazenamento uniformemente dispersas, pelo uso de práticas que retenham o escoamento, para mitigar 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 hidrológica funcional no lote.

Diante desta meta, faz-se interessante observar os objetivos da prática de LID (Prince George's County, 1999a):

- 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.

## **2.1 GESTÃO E CONTROLE DOS IMPACTOS**

A gestão e controle dos impactos são realizados, não somente pela utilização de controles estruturais (controle no lote), mas, principalmente, pela educação pública (controle na fonte), abrangendo construtores, planejadores e população em geral. De acordo com as condições climáticas, geológicas e sócio-econômicas entre outras diferenças, soluções diferentes serão necessárias para várias partes do mundo, como preconizava Niemczynowicz (1993a) já no início da década de 90.

Aplicar estratégias de LID a qualquer uso de terra consiste em desenvolver caminhos para criativamente prevenir, reter, deter, usar e tratar escoamento em dispositivos paisagísticos multifuncionais únicos para aquele uso de terra (Prince George's County, 1999a). Neste item são apresentados os dispositivos usualmente empregados e a forma como se realiza o planejamento local para implantação destas práticas. O controle efetuado pela educação ambiental será explanado oportunamente (item 2.2.2).

### **2.1.1 Dispositivos de Controle**

Práticas de gestão integrada (IMPs) podem reduzir o escoamento pela integração de controles em numerosas unidades discretas, em pequenas partes de cada lote, próximo às fontes, podendo eliminar a necessidade de controles centralizados (Prince George's County, 1999a). O QUADRO 1 compara os atributos de dispositivos convencionais (reservatórios de retenção) aos de LID.



QUADRO 1: ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS DE PRÁTICAS DE LID E CONVENCIONAIS.

<b>Parâmetro Hidrológico</b>	<b>Convencional</b>	<b>LID</b>
<b>No lote</b>		
<b>Cobertura Impermeável</b>	Encorajada para atingir uma drenagem eficiente	Minimizada para reduzir impactos
<b>Cobertura Natural/Vegetação</b>	Reduzida para melhorar drenagem local eficiente	Maximizada para manter hidrologia de pré-desenvolvimento
<b>Tempo de Concentração</b>	Reduzido como produto da eficiência da drenagem	Maximizado para aproximar às condições de pré-desenvolvimento
<b>Volume de Escoamento</b>	Grande aumento em volume de escoamento não controlado	Controlado para condições de pré-desenvolvimento
<b>Descarga de Pico</b>	Controlado para chuva de projeto de pré-desenvolvimento	Controlado para condições de pré-desenvolvimento para as chuvas inferiores
<b>Frequência de Escoamento</b>	Grandemente aumentada, especialmente para chuvas pequenas, freqüentes	Controlado para condições de pré-desenvolvimento para chuvas inferiores às de projeto
<b>Duração do Escoamento</b>	Aumentada para todas as chuvas, porque o volume não é controlado	Controlado para condições de pré-desenvolvimento
<b>Abstração de chuvas</b>	Grande redução em todos os elementos (Interceptação, Infiltração, Depressões e Armazenamento)	Mantida para condições de pré-desenvolvimento
<b>Recarga de Água Subterrânea</b>	Redução na recarga	Mantida para condições de pré-desenvolvimento
<b>Fora do lote</b>		
<b>Qualidade da Água</b>	Redução em cargas de poluição, mas controle limitado para eventos menores que descarga de projeto.	Aumento em reduções de cargas poluentes, controle total para eventos menores que descarga de projeto.
<b>Corpos receptores</b>	Impactos severos documentados - Erosão e degradação de canais; Deposição de sedimentos; Fluxo de base reduzido; Adequabilidade do habitat diminuída, ou eliminada.	Ecologia do sistema mantida para condições de pré-desenvolvimento.

QUADRO 1: ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS DE PRÁTICAS DE LID E CONVENCIONAIS  
(CONT.).

Parâmetro Hidrológico	Convencional	LID
<b>Fora do lote</b>		
<b>Inundações a Jusante</b>	Controle de descarga do pico reduz inundações imediatamente abaixo de estruturas de controle, mas podem aumentar inundações a jusante por impactos cumulativos e superposicionamento de hidrogramas.	Controladas para condições de pré-desenvolvimento

Adaptado de Prince George's County, 1999a, p. 57.

O desafio de projetar LID se encontra em providenciar controle de quantidade e qualidade, por intermédio de práticas integradas (Figura 15) e estratégias de projeto, incluindo:



Figura 15: Exemplo de IMP: Bio-retenção.

(Fonte: Weinstein, 2003, p. 1)

- a) Recarga subterrânea;
- b) Retenção ou detenção para armazenamento permanente;
- c) Controle e captura de poluentes (ver TABELA 1);

- d) Valorização estética da propriedade;
- e) Uso múltiplo de áreas, satisfazendo em alguns casos requerimentos governamentais locais por áreas “verdes” ou espaço vegetado.

TABELA 1: EFICIÊNCIA DE IMPS NA REMOÇÃO DE POLUENTES (%)

<b>IMP</b>	<b>TSS</b>	<b>Total P</b>	<b>Total N</b>	<b>Zinco</b>	<b>Cobre</b>	<b>DBO</b>	<b>Bactéria</b>
<b>Bio-retenções</b>	-	81	43	99	99	-	-
<b>Poço seco</b>	80-100	40-60	40-60	80-100	80-100	60-80	60-80
<b>Trincheira de Inf.</b>	80-100	40-60	40-60	80-100	80-100	60-80	60-80
<b>Faixa de Proteção</b>	20-100	0-60	0-60	20-100	20-100	0-80	-
<b>Valo Gramado</b>	30-65	10-25	0-15	20-50	20-50	-	Neg.
<b>Valo Inf.</b>	90	65	50	80-90	80-90	-	-
<b>Valo Molhado</b>	80	20	40	40-70	40-70	-	-
<b>Barril</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
<b>Cisterna</b>	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Adaptado de Prince George's County, 1999a, p. 72.

Posicionar dispositivos em série providencia o máximo controle de águas pluviais, procedimento muito incentivado na gestão da drenagem em manuais australianos (Australia, 2002), sendo eficiente em reduzir tanto o volume como a vazão de pico.

O QUADRO 2 relaciona os IMPS às funções hidrológicas que estes podem desempenhar.

A seguir serão apresentados alguns IMPS, além de estruturas convencionais utilizadas somente em casos onde não mais haja possibilidade de fazer uso de práticas integradas.

QUADRO 2: DESEMPENHO HIDROLÓGICO DE IMPS

IMP							
Funções Hidrológicas	Bio-Ret.	Poço Seco	Faixa Proteção	Valo Inf.	Barril	Cisterna	Trinch. Inf.
Interceptação	A	N	A	M	N	N	N
Armazenamento em Depressões	A	N	A	A	N	N	M
Infiltração	A	A	M	M	N	N	A
Recarga Sub.	A	A	M	M	N	N	A
Volume de Escoamento	A	A	M	M	B	M	A
Descarga de Pico	M	B	B	M	M	M	M
Frequência de Escoamento	A	M	M	M	M	M	M
Qualidade de Água	A	A	A	A	B	B	A
Fluxo de Base	M	A	A	M	M	N	B
Qualidade do Rio	A	A	A	M	N	B	A

Legenda: A = Alto      M = Moderado      B = Baixo      N = Nenhum

Adaptado de Prince George's County, 1999a, p. 71.

### Preparo do solo

Uma forma de restaurar algumas das funções naturais em áreas urbanizadas consiste na incorporação de compostagem ou outra matéria orgânica ao solo (Figura 16). Kolsti *et al.* (1995) *apud* McDonald (2001) relatam que foi obtida redução de 50% em escoamento pluvial para solo preparado por compostagem, comparado a outro sem preparo. Preparo por compostagem funciona bem para solos argilosos, arenosos, ou de cascalho. Segundo Tyler (2001) *apud* McDonald (2001), cobertura de compostagem em declividades íngremes e em bermas têm provado ser eficientes no controle de erosão em curto-prazo, enquanto melhora a vegetação em longo-prazo e a estabilidade de taludes.

Reciclagem de restos de comida e jardinagem, de resíduos de processos em estações de tratamento (lodo), de entulhos de construção e movimentação de terra, além de resíduos de agricultura, tendo como produto compostagem, reduz a demanda por espaço e o escoamento de nutrientes para rios. Com a melhoria da retenção de umidade do solo e a profundidade das raízes das plantas, compostagem reduz a necessidade de irrigação e, por conseguinte, a demanda de pico.



Figura 16: Efeito do preparo do solo por compostagem

(Fonte: Low Impact Development Center, 2004, p.1)

Para empreendedores e paisagistas, a correção do solo antes do plantio resulta em melhor sobrevivência da planta, taxa de crescimento, resistência a doenças e pestes, e ainda melhor aparência em longo-prazo. Para proprietários, reduz a necessidade de manutenção e pode ser paga em poucos anos pela economia de água e químicos, sem contar os benefícios da redução de águas pluviais e poluentes (McDonald, 2001).

### **Bio-retenção**

Bio-retenção (Figura 17 e Figura 18) 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. O método combina filtragem física e adsorção por processos biológicos, estimulando interceptação, infiltração, deposição de partículas e sólidos suspensos, evaporação, absorção, transpiração, evapotranspiração, assimilação de poluentes, nitrificação, desnitrificação, volatilização, atenuação termal, degradação de componentes químicos e decomposição.

O QUADRO 3 apresenta seus componentes de projeto, bem como suas características. Embora apresente aspecto de um jardim convencional, esta prática realiza um ótimo trabalho de engenharia, sendo requerido para sua manutenção apenas tratamento paisagístico (Prince George's County, 1999a).

QUADRO 3: COMPONENTES DE PROJETO DE BIO-RETENÇÕES

<b>Área de Pré-tratamento</b>	Requerido onde um volume significativo de fragmentos ou material suspenso é prognosticado, <i>e.g.</i> , estacionamento ou áreas comerciais. Planos ou valos vegetados são comumente utilizados como pré-tratamento.
<b>Área de detenção</b>	Tipicamente limitados a uma profundidade de 15 cm
<b>Área de cobertura do solo</b>	Recomenda-se 8 cm de vegetação rasteira nativa.
<b>Solo preparado</b>	Profundidade = 1,22 m. Misturas de solo incluem areia, areia argilosa, e argila arenosa. Conteúdo de argila < 10%
<b>Solo in-situ</b>	Taxa de infiltração > 1,27 cm/hora sem drenos. Taxa de infiltração < 1,27 cm/hora requer drenos.
<b>Materiais plantados</b>	Espécies nativas. Mínimo = 3 espécies.
<b>Controles de entrada e saída</b>	Velocidade de fluxo não-erosiva (0,15 m/s)
<b>Qualidade de água</b>	Veja TABELA 1 para dados de desempenho.
<b>Manutenção</b>	Manutenção paisagística rotineira
<b>Projeto hidrológico</b>	Determinada por legislação estadual ou local.

Fonte: Prince George's County, 1999a, p. 74.

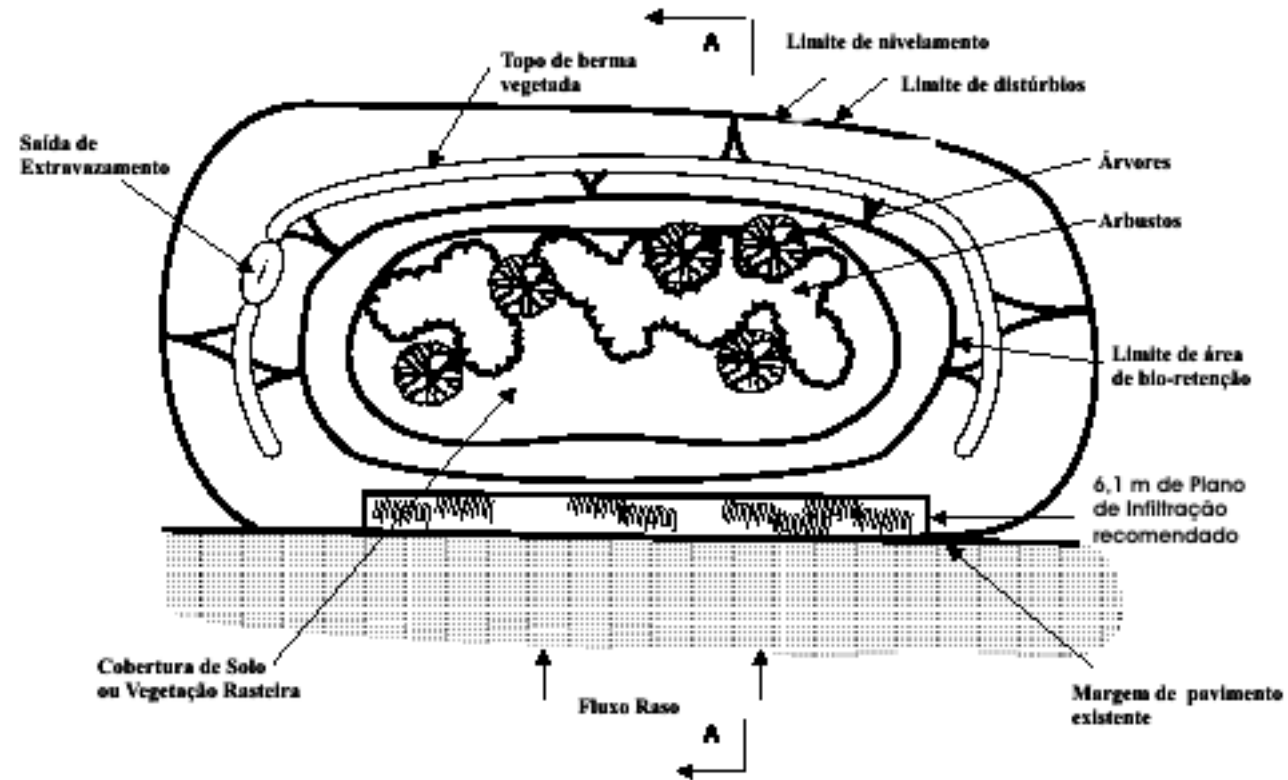


Figura 17: Planta baixa de uma bio-retenção (fora de escala).

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p.75)

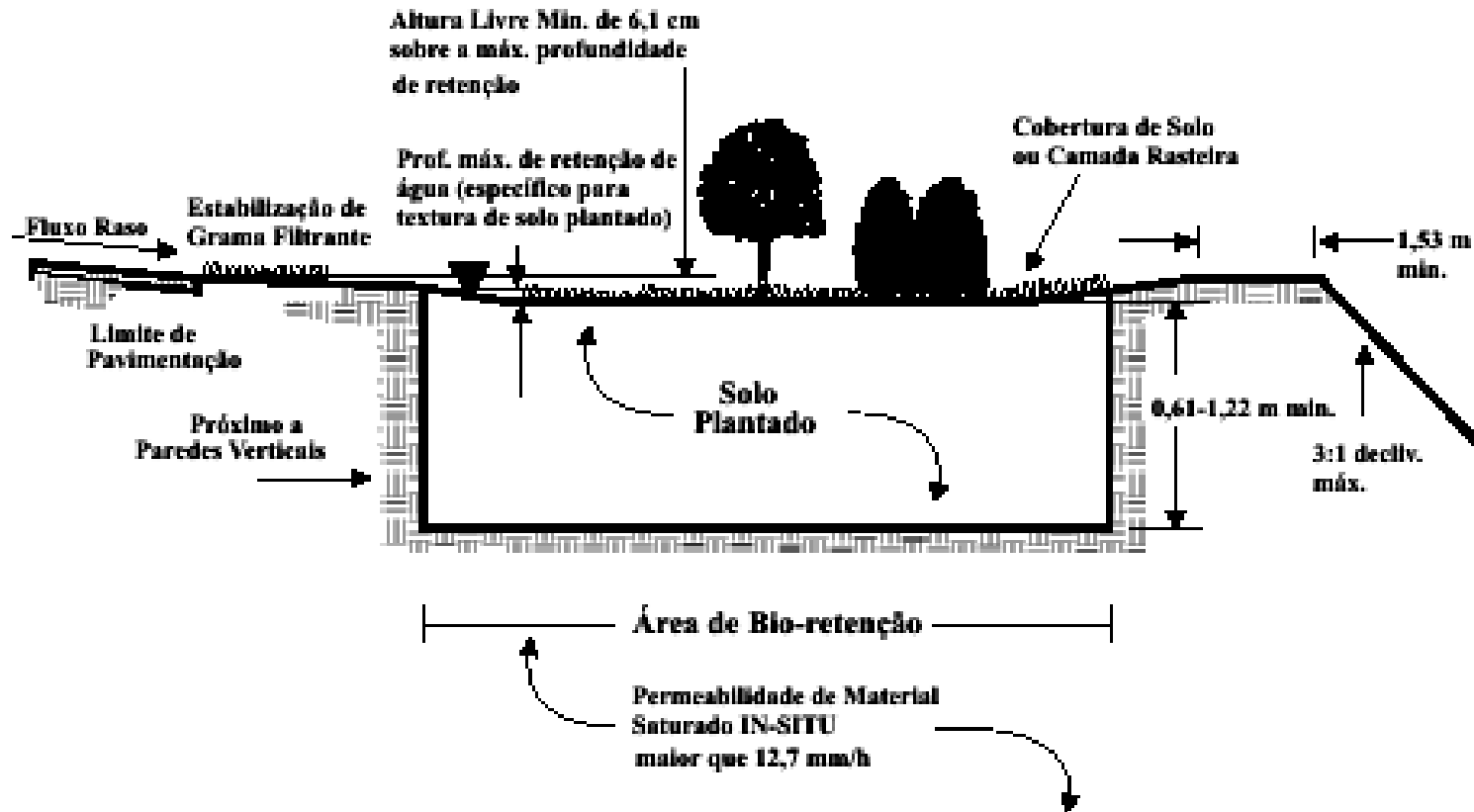


Figura 18: Seção transversal (corte A-A) de uma bio-retenção (fora de escala).

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p.75)



### Poço de infiltração

Trata-se de uma escavação pequena preenchida com agregados, usualmente pequenos pedregulhos ou cascalho. Funciona como sistema de infiltração utilizado para controlar escoamento do telhado de edificações ou em bacias modificadas, onde o fluxo de entrada é uma forma de escoamento superficial direto. Poços de infiltração (Figura 19) providenciam a maior parte do tratamento por processos relacionados à infiltração no solo, incluindo adsorção, captura, filtragem e degradação de bactérias.

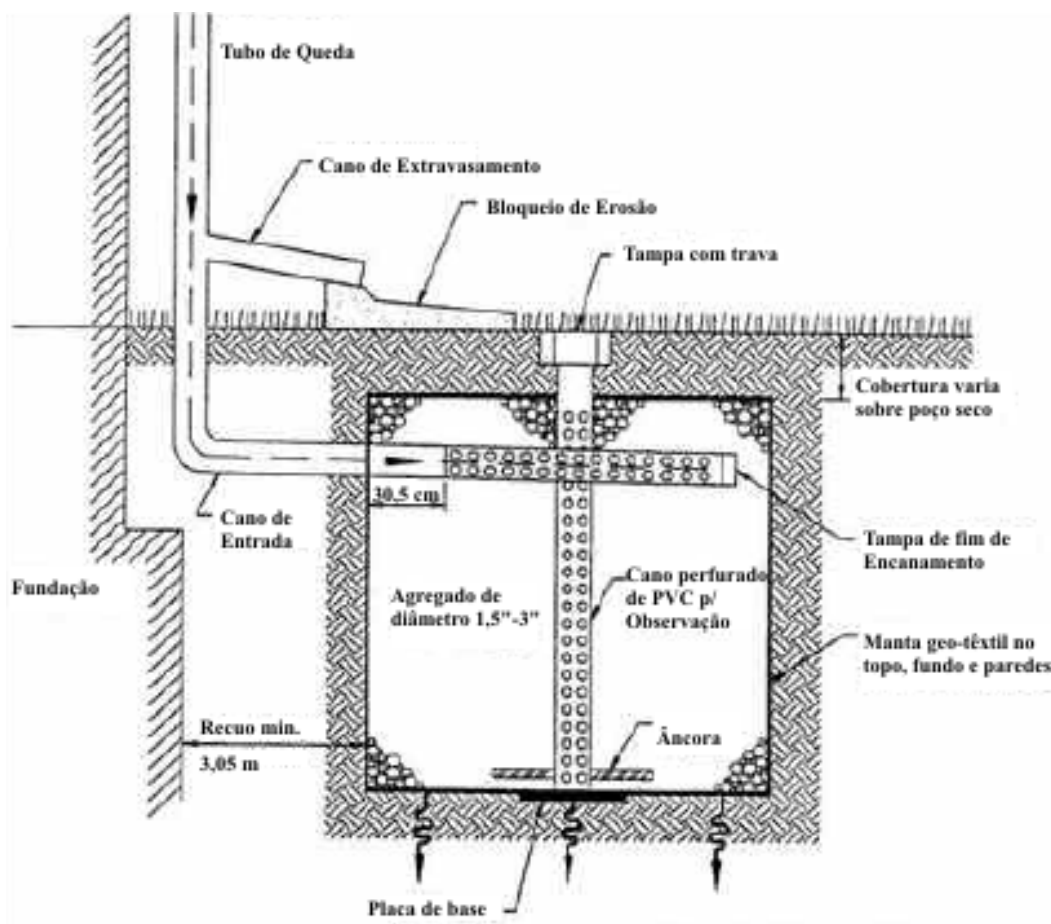


Figura 19. Poço de infiltração.

(Fonte: United States, 2004, p.50)

O QUADRO 4 sumariza os componentes de projeto e suas características.

QUADRO 4: COMPONENTES DE PROJETO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO.

<b>Chuva de projeto</b>	Determinada pela legislação local ou estadual. Guia providenciado no Prince George's County LID Manual é recomendado.
<b>Permeabilidade do solo</b>	> 0,69 – 1,27 cm /hora
<b>Tempo de armazenamento</b>	Esvaziado em 3 dias
<b>Preenchimento</b>	Agregado Puro > 11/2, < 3", cercado por filtro de fabricação para engenharia
<b>Filtragem do escoamento</b>	Telas devem ser colocadas no topo das guias de telhado. Graxas, materiais orgânicos oleosos flutuantes e sedimentos sólidos devem ser removidos antes da entrada de estruturas de controle.
<b>Estruturas de saída</b>	Caminhos de fluxo de cobertura de escoamento superficial que excedem a capacidade das estruturas de controle devem ser identificados e estimados. Um sistema de transbordamento que leve a um canal estabilizado ou a um curso d'água incluindo medidas para fornecer condições de fluxo não-erosivo deve ser providenciado.
<b>Estrutura de observação</b>	Deve ser providenciado PVC de 10 cm ou descarga rasa construída na base, além de tampa com trava
<b>Profundidade da estrutura</b>	91,5 cm a 3,7 m
<b>Projeto hidrológico</b>	Determinado pela legislação local ou estadual. Guia providenciado por Maryland Stormwater Design Manual é recomendado.
<b>Qualidade da Água</b>	Veja TABELA 1 para dados de desempenho.
<b>Manutenção</b>	Monitoramento periódico — trimestral de início e anualmente depois.

Fonte: Prince George's County, 1999a, p. 77.

### Planos de Infiltração

Planos de Infiltração (Figura 20) são tipicamente tiras de vegetação, usualmente grama, plantada entre fontes de poluição e um corpo receptor. Estes podem também ser utilizados como dispositivos de pré-tratamento para outra prática de controle.

O QUADRO 5 apresenta os componentes de projeto e as características deste dispositivo.

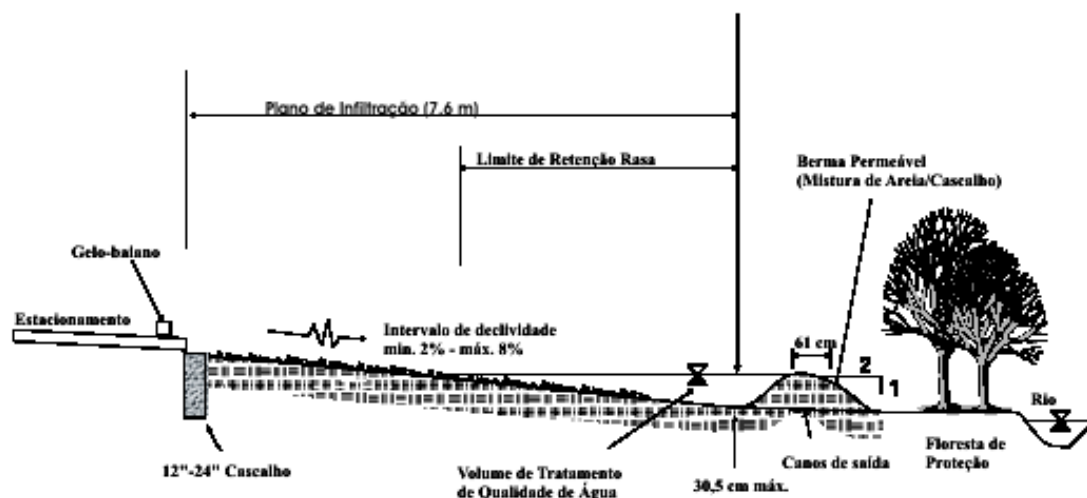


Figura 20: Plano de Infiltração.

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p.78)

QUADRO 5: : COMPONENTES DE PROJETO DE PLANOS DE INFILTRAÇÃO.

<b>Chuva de projeto</b>	Determinada pela legislação local ou estadual. Guia recomendado em Prince George's County, Maryland, LID Manual (PGC, 1997) and Maryland Stormwater Design Manual (MDE, 1998)
<b>Área de drenagem</b>	Área máxima de drenagem para planos de infiltração é limitada pelos limites do fluxo de transbordamento de 45,8 m para superfícies permeáveis e 22,9 m para superfícies impermeáveis
<b>Declividade</b>	Declividade mínima = 1.0% Declividade máxima = determinada pelas condições de campo
<b>Fluxo</b>	Deve ser usado para controlar somente fluxo raso de cobertura. Descarga não deve exceder o alcance de 0,1 m <sup>3</sup> /s.
<b>Tamanho e comprimento</b>	O tamanho do plano de infiltração é determinado pelo volume de tratamento requerido. Um comprimento mínimo de 6,1 m é recomendado
<b>Qualidade de água</b>	A eficiência de remoção de poluição do plano de infiltração é resumida na TABELA 1
<b>Manutenção</b>	Manutenção paisagística rotineira é requerida

Fonte: Prince George's County, 1999a, p. 79.

### Proteção natural

Proteção natural consiste em faixas de vegetação (presentes na Figura 15), natural ou plantada, em torno de áreas sensíveis como corpos hídricos, banhados,

florestas ou solos altamente erodíveis. Estas faixas auxiliam na redução de impactos por capturar sedimentos e poluentes agregados a estes, providenciando alguma infiltração e tornando mais lentos e dispersos os fluxos de água pluvial.

### Espalhador de nível

Espalhador de nível é tipicamente um dispositivo projetado para converter escoamento concentrado em fluxo raso e o dispersar uniformemente prevenindo erosão. Um tipo de espalhador de nível pode ser uma trincheira rasa preenchida com pedras trituradas (Figura 21).

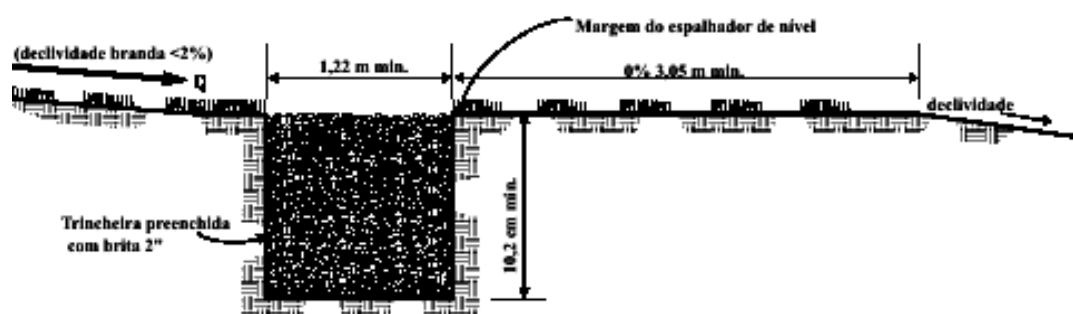


Figura 21: Espalhador de nível (Trincheira de britas).

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p.80)

### Valos de infiltração

Projetistas podem desenhar valos para otimizar o desempenho com respeito a várias funções hidrológicas, como armazenamento e controle qualitativo. Dois tipos de valos de infiltração são utilizados (ver QUADRO 6 para considerações de projeto):

- a) Valo Seco. Utilizado em áreas de baixa densidade residencial ou áreas impermeáveis muito pequenas, este dispositivo (Figura 22) providencia controle de quantidade (volume) e qualidade por facilitar a infiltração, e;

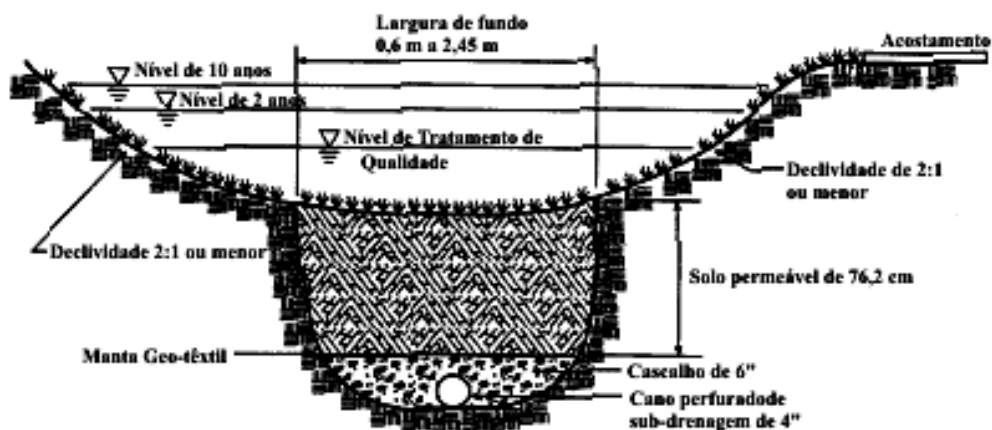


Figura 22: Valo seco.

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p.81)

- b) Valo Molhado. Emprega-se valo molhado (Figura 23) em planos mais baixos, utilizando o tempo de residência e crescimento natural, ou vegetação tolerante à água, para reduzir a taxa de descarga de pico e providenciar tratamento de qualidade de água antes de descarregar para localidades a jusante. Estes dispositivos são utilizados, principalmente, em projetos de vias expressas (*highways*).

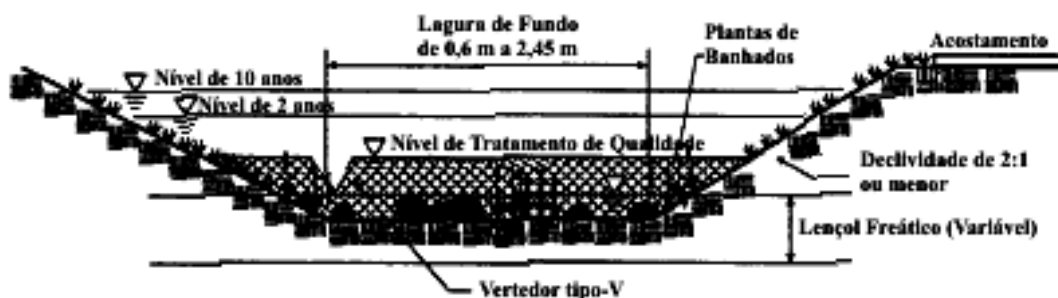


Figura 23: Valo molhado.

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p.82).

QUADRO 6: CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE VALOS DE INFILTRAÇÃO.

<b>Chuva de projeto</b>	Determinada pela legislação local ou estadual. Guia providenciado por Prince George's County LID Design Manual e por Maryland Stormwater Design Manual (MDE, 1998) serve de referência.
<b>Capacidade do canal</b>	Valo deve ser dimensionado para conduzir a descarga de pico da chuva de projeto
<b>Solos</b>	A permeabilidade (taxa de infiltração) dos solos determinará se um valo seco ou molhado pode ser usado. Recomenda-se que solos usados para valos secos tenham taxas de infiltração de 0,69 – 1,27 cm por hora.
<b>Forma do Canal</b>	Forma trapezoidal ou parabólica é recomendada.
<b>Largura de fundo</b>	Mínima = 0,61 m, Máxima = 1,83 m
<b>Declividades laterais</b>	3:1 ou mais planas
<b>Declividade longitudinal do canal</b>	Mínima = 1.0 %, Máxima = 6.0 %
<b>Profundidade do Fluxo</b>	10,2 cm para tratamento qualitativo de água
<b>Valor da rugosidade de Manning</b>	0,15 para tratamento qualitativo de água (profundidade < 10,2 cm) 0,15 – 0,03 para profundidades entre 10,2 cm e 30,6 cm 0,03 mínima para profundidade 30,6 cm
<b>Velocidade de Fluxo</b>	0,31 m/s para tratamento qualitativo de água 0,92 m/s para chuvas de 2 anos 1,23 m/s para chuvas de 10 anos
<b>Comprimento do canal</b>	Comprimento necessário para tempo de residência de 10 minutos
<b>Qualidade da Água</b>	A eficiência de remoção de poluição do valo de infiltração é resumida na TABELA 1.
<b>Manutenção</b>	Manutenção paisagística rotineira é requerida.

Adaptado de Prince George's County, 1999a, p. 83.

### Trincheiras de Infiltração

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 (Figura 24) 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, 1999a).

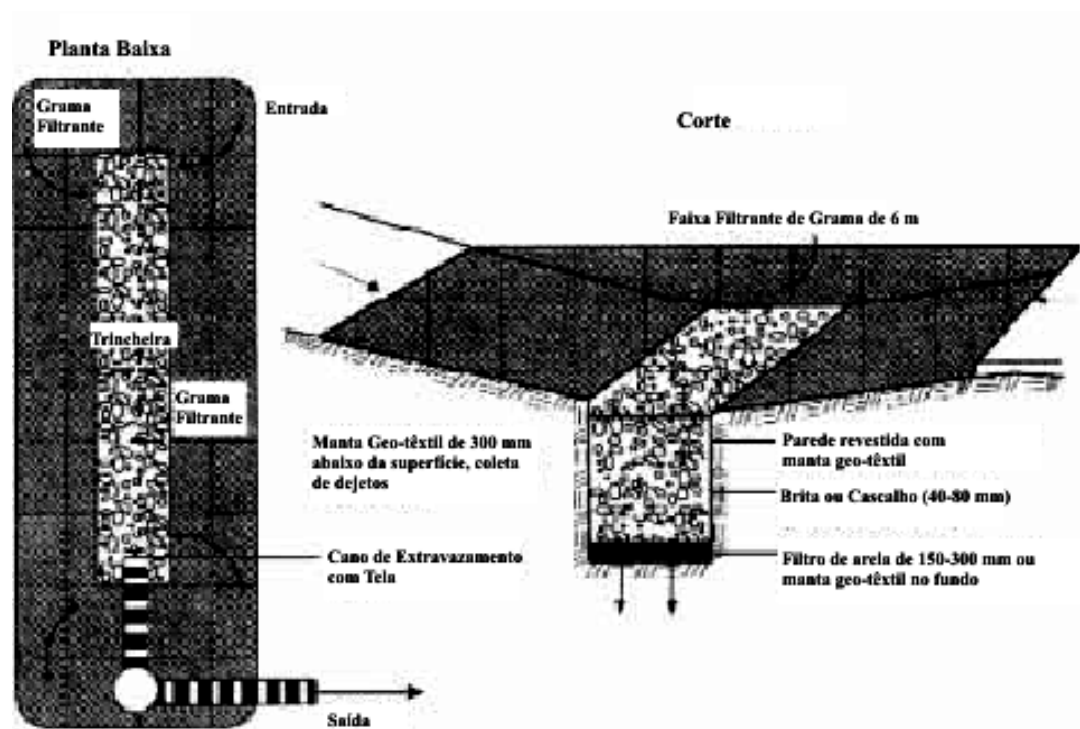


Figura 24: Trincheira de infiltração.

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p.85).

O QUADRO 7 apresenta alguns componentes de projeto e suas características.

### Barris de chuva

Barris de chuva (Figura 25) são dispositivos eficientes, de baixo custo e fácil manutenção, aplicáveis a localidades residenciais, comerciais e industriais, os quais operam retendo volumes pré-determinados de escoamento do telhado, *i.e.*, armazenam permanentemente para um volume de projeto. Estes dispositivos

apresentam a vantagem de possibilitar o reuso de águas, as quais podem ser empregadas para usos menos nobres, *e.g.*, rega de jardins e uso em toilets.

QUADRO 7: COMPONENTES DE PROJETO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

<b>Chuva de projeto</b>	Determinada pela legislação local ou estadual. Guia providenciado por Prince George's County LID Design Manual e por Maryland Stormwater Design Manual (MDE, 1998) serve de referência. Condição local pode necessitar de ajustes das recomendações nos documentos guia.
<b>Permeabilidade do solo</b>	> 0,69 – 1,27 cm /hora
<b>Profundidade da estrutura</b>	91,5 cm a 3,7 m
<b>Tempo de armazenamento</b>	Vazio dentro de 3 dias
<b>Preenchimento</b>	Agregado Puro > 11/2, < 3", cercado por filtro de fabricação para engenharia
<b>Filtragem do escoamento</b>	Telas devem ser colocadas no topo das guias de telhado. Graxas, materiais orgânicos oleosos flutuantes e sedimentos sólidos devem ser removidos antes da entrada de estruturas de controle.
<b>Estruturas de saída</b>	Caminhos de fluxo de cobertura de escoamento superficial que excedem a capacidade da trincheira devem ser identificados e estimados. Um sistema de transbordamento que leve a um canal estabilizado ou curso d'água incluindo medidas para providenciar condições de fluxo não-erosivo deve ser providenciado.
<b>Estrutura de observação</b>	Deve ser providenciado PVC de 10 cm ou descarga rasa construída com superfície do solo, além de tampa com trava.
<b>Projeto hidrológico</b>	Determinado pela legislação local ou estadual. Maryland Stormwater Design Manual é recomendada.
<b>Qualidade da Água</b>	Veja TABELA 1 para dados de desempenho.
<b>Manutenção</b>	Monitoramento periódico — trimestral de início e anual depois.

Adaptado de Prince George's County, 1999a, p. 86.

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. Algumas considerações de projeto são apresentadas em Prince George's County (1999a).





Figura 25: Barril de chuva.

(Fonte: Low Impact Development Center, 2004, p.1)

## Cisternas

Cisternas (Figura 26) seriam tanques subterrâneos para armazenamento de águas de telhado, os quais providenciam volume de armazenamento para detenção. Armazenamento no lote com posterior reuso também providenciam oportunidade para conservação e possível redução de custos para obtenção de água.



Figura 26: Cisterna.

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p.84).

Para eventos com volume superior ao volume de espera das cisternas, estes dispositivos perdem efeito prático para o controle da drenagem quando sua

capacidade máxima de armazenamento é atingida, assim como os barris de chuva. Algumas considerações de projeto são apresentadas em Prince George's County (1999a).

### **Pavimentos Permeáveis**

O uso de pavimentos permeáveis (Figura 27) 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 e calçadas. Estudos na Alemanha (Australia, 2002) comprovam que metais pesados são retidos no uso de pavimentos porosos, não causando contaminação ao solo. Segundo Center for Watershed Protection (1998) *apud* U.S. Environmental Protection Agency (2000), as instalações com maiores sucessos se encontram em regiões com solos arenosos e declividades baixas.



Figura 27: Estudos com Pavimento Permeável em Porto Alegre.

## Telhados verdes

Telhados verdes (*rooftop storage*, Figura 28) consistem na utilização de vegetação rasteira pré-cultivada nos telhados de edificações, providenciando os seguintes benefícios:



Figura 28: Jardim suspenso.

(Fonte: Portland Bureau of Environmental Services, 2002, p. 15)

- a) Melhoria da qualidade do ar (até 85% de partículas de poeira podem ser filtradas);
- b) Amenização de temperaturas e aumento de umidade pela evaporação natural;
- c) Armazenamento de 30% a 100% de chuvas anuais; criação de paisagem esteticamente mais agradável (Prince George's County, 1999a).

O emprego destes dispositivos está condicionado ao dimensionamento da estrutura para suportar a carga adicional que estes representam e à aplicação de manta impermeável revestindo a laje.

### **Outras Alternativas**

Nos próximos anos, novas práticas de gestão integradas e melhorias à aproximação de LID serão introduzidas. Práticas interessantes já estão a caminho, embora apresentem informação limitada sobre as mesmas. Uma destas foi pinçada e será apresentada a seguir.

Recomenda-se a observação de práticas ambientalmente sustentáveis com finalidades de reuso de águas pluviais, como as aplicadas no Japão (Fendrich & Oliynik, 2002).

**Fundações de Baixo-Impacto:** Trata-se de fundações que seguem as estratégias de LID (Figura 29), utilizando pouco manejo de terra, *i.e.*, escavações e reaterro, por ser empregável em declividades de até 8%, economia em concreto e tempo de trabalho, possibilitando que a estrutura nativa do solo sob a residência continue a desempenhar sua função hidrológica, removendo “represas subterrâneas”, papel que as fundações convencionais acabam desempenhando (Palazzi & Gagliano, 2001). Para a construção de conjuntos habitacionais, as fundações se apresentam econômicas, enquanto no estudo desenvolvido para uma residência simples unifamiliar, o custo de implantação deste dispositivo foi 5% superior ao convencional (Puget Sound Action Team, 2003). Este dispositivo representa o

sucesso possível entre o setor público e o privado na busca por soluções com preocupação ambiental.



Figura 29: Fundações de baixo impacto.

(Fonte: Puget Sound Action Team, 2003, p. 28)

### **Dispositivos convencionais**

Dentre os dispositivos convencionalmente utilizados em países desenvolvidos quanto à gestão de águas pluviais, encontram-se tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos (Figura 30) ou enterrados, com a finalidade de amortecer o volume gerado, minimizando o impacto hidrológico proveniente da redução da capacidade de armazenamento natural. Esses reservatórios podem ser dimensionados para manter uma lâmina permanente de água (retenção), ou secar após seu uso (Figura 31) para ser utilizado em outras finalidades (detenção), *e.g.*, recreação (Tucci, 2003). Esses dispositivos são utilizados para o controle da vazão máxima, controle do volume ou controle do material sólido, caracterizando um controle artificial do escoamento por apenas redistribuir o volume, não estimulando os tratamentos físicos, químicos e/ou biológicos naturais. Conhece-se ainda a

utilização de banhados artificiais, com aplicações em países desenvolvidos, *e.g.*, Austrália, que somados a estes já descritos neste item são denominados controles a jusante (*downstream control*).



Figura 30. Reservatório de detenção em loteamento em Porto Alegre.



Figura 31: Detenção com uso para recreação em Porto Alegre.

### 2.1.2 Planejamento Local

Planejadores podem iniciar por se perguntar: “Quais são as funções hidrológicas essenciais de pré-desenvolvimento, e como estas podem ser mantidas enquanto permitem o uso do local?”.

Estratégias e técnicas de planejamento providenciam os caminhos para alcançar as metas e objetivos de gestão de águas pluviais; facilitam o desenvolvimento de planos adaptados a restrições topográficas naturais; mantêm o rendimento do lote; mantêm as funções hidrológicas do local; providenciam o conforto estético, e freqüentemente o emprego de controles de gestão de águas pluviais menos custosos.

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

- a) Usar hidrologia como estrutura integradora;
- b) Focalizar micro-gestão;
- c) Controlar as águas pluviais na fonte;
- d) Utilizar métodos simplistas não-estruturais;
- e) Criar uma paisagem multifuncional.

Focalizar micro-gestão consiste em mudar a perspectiva ou aproximação com respeito ao tamanho da área sendo controlada, *e.g.*, trabalhando com micro sub-bacias, e/ou com respeito ao tamanho do controle, *e.g.*, emprego de micro-técnicas (IMPs). A utilização de micro-gestão apresenta como vantagens:

- a) Providenciar 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 a serem 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.

Sistemas pequenos, distribuídos de micro-gestão também podem oferecer uma grande vantagem técnica: um ou mais sistemas podem falhar sem comprometer a integridade total da estratégia de controle local.

Neste item são apresentados o procedimento de planejamento de LID, as considerações hidrológicas a serem efetuadas, o procedimento para planejamento hidrológico do local e para identificação e seleção de IMPs, assim como a metodologia para avaliação hidrológica, incluindo os modelos mais comumente utilizados.

### **Procedimento de Planejamento de LID**

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 (Prince George's County, 1999a).

**Etapa 1 – Identificar regulamentações de zoneamento, uso do solo e outras aplicáveis.** Regulamentações de zoneamento pretendem regular a densidade e a geometria do empreendimento, especificando requerimentos como recuos, larguras de ruas e estacionamentos, entre outros. Esta e as demais regulamentações incidentes devem ser obedecidas para a aprovação do empreendimento por parte do poder público. Oportunamente (item 2.2) serão apresentadas algumas alternativas propostas por LID para otimizar e facilitar a busca por soluções sustentáveis.

**Etapa 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, devem ser avaliadas as condições prévias, como a existência de áreas protegidas.

**Etapa 3 – Reduzir limites de movimentação de terra.** A redução de áreas de movimentação de terra para a manutenção das condições naturais auxilia por diminuir a necessidade de mitigação dos impactos causados por estas alterações a jusante.

**Etapa 4 – Utilizar “digitais” locais.** Observar as características naturais para buscar utilizar as “digitais” do local, *i.e.*, empregar técnicas de distúrbios mínimos locais, *e.g.*, fazer uso do caminho natural de drenagem, usufruindo de sistemas naturais em detrimento ao desenvolvimento de sistemas artificiais, surge como sugestão importante para o desenvolvimento de um empreendimento de LID.

A área de desenvolvimento de atividades de construção deve estar localizada em áreas menos sensíveis a distúrbios ou que tenham menor valor em termos hidrológicos. Onde prático e possível, deve-se evitar solos com taxas muito altas de infiltração, reduzindo, com isso, impactos hidrológicos. Dentre as técnicas de distúrbios mínimos, incluem-se as seguintes:

- a) Redução da pavimentação e compactação de solos altamente permeáveis;
- b) Minimização do tamanho dos dispositivos, da área de armazenamento e localização de material de construção dentro das condições de desenvolvimento durante a fase de construção de um projeto;
- c) Localização do *layout*, limpeza e nivelamento da construção para evitar a remoção de árvores existentes;
- d) Minimização de impermeabilidade pela redução da área total pavimentada;
- e) Delineação e sinalização da menor área de distúrbio possível para minimizar a compactação de solo e restringir o armazenamento temporário de equipamentos de construção nestas áreas;
- f) Desconexão ao máximo possível de áreas impermeáveis, aumentando as oportunidades para infiltração e redução do fluxo de escoamento;

- g) Manutenção da topografia existente e divisão de drenagem associada para encorajar caminhos de fluxo dispersos.

**Etapa 5 – Utilizar Drenagem/Hidrologia como elemento de projeto.**

Avaliação e compreensão da hidrologia local são necessárias para criar a paisagem hidrológica multifuncional que imite a natureza. Procedimentos de avaliação de melhoria do potencial de escoamento e manutenção do Tc são incorporados o quanto antes ao planejamento providenciando melhores resultados.

Organização espacial do *layout* local também se mostra importante, sendo o estudo de aptidão de áreas de grande relevância. Sistemas de drenagem aberta podem trabalhar com formas naturais e usos da terra para figurar como um elemento de projeto importante para o planejamento, podendo sugerir localizações ótimas para parques e áreas de jogos, alinhamento de caminhos e locais potenciais de construção. O sistema de drenagem pode ajudar a integrar formas urbanas, dando ao desenvolvimento uma relação integral esteticamente mais agradável às características naturais locais.

**Etapa 6 – Minimizar Impermeabilidade.** A rede de distribuição de tráfego é a maior fonte de áreas impermeáveis, sendo apresentados a seguir métodos para reduzir o volume de escoamento total de áreas impermeáveis:

- a) **Layout alternativo das ruas:** Seleção de um *layout* alternativo pode resultar em redução de impermeabilidade total de 26%;

- b) **Estreitamento de seções de ruas:** Emprego de seções mais estreitas, *e.g.*, seção rural em contraposição à urbana, pode reduzir em 33% o total de áreas impermeáveis, economizando ainda pela ausência de sarjetas e meios-fios (Figura 32 e Figura 33).



Figura 32: Layout típico de rua urbana (Seattle, E.U.A.).

(Fonte: Natural Resources Defense Council, 2004a, p. 1)



Figura 33: Layout de rua planejada com estratégias de LID.

(Fonte: Natural Resources Defense Council, 2004a, p. 1)

- c) **Aplicação reduzida de calçadas** a apenas 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:** Redução ou até eliminação de acostamentos podem reduzir de 25 a 30% a impermeabilidade. Providenciar estacionamento dos dois lados de ruas permite que 4,5 a 6,5 carros por residência estacionem.

A seguir serão apresentados métodos para reduzir o volume de escoamento total de áreas impermeáveis no lote:

- a) Telhados. Tipo de casa, forma e tamanho podem afetar a impermeabilidade do telhado. Casas rurais normalmente requerem maior cobertura por se espalhar em um nível. Portanto, construções verticais são favorecidas em relação às horizontais por reduzir a área de telhado. O uso de telhados verdes auxilia na manutenção de áreas verdes e no tratamento e captura de água para posterior reuso.
- b) Garagens e vias privadas (ligam a rua à residência). Algumas técnicas utilizáveis são as seguintes:
- ✓ Compartilhamento, especialmente em áreas sensíveis;
  - ✓ Limitação de larguras;
  - ✓ Minimização de recuos para reduzir o comprimento;

- ✓ Emprego de materiais que reduzam o escoamento superficial e aumentem o tempo de deslocamento da onda de cheia, incluindo áreas de estacionamento, como pavimentos permeáveis ou pedregulhos.

**Etapa 7 – Desenvolver planejamento integrado preliminar.** As condições de desenvolvimento (etapa 2) e a minimização de áreas impermeáveis (etapa 6) providenciam base para condução de análises comparativas de hidrologia de pré e pós-desenvolvimento, confirmando ou não o sucesso na criação de paisagem hidrológica funcional. O caminho e os critérios para avaliação hidrológica serão oportunamente explicitados.

O planejamento integrado não somente complementa, mas também pode economizar, *e.g.*, por amenizar potencial duplicidade de gastos para controle de produção de sedimentos por efetuá-lo próximo à construção de IMPs, bem como, por viabilizar o reuso de águas.

**Etapa 8 – Minimizar áreas impermeáveis diretamente conectadas.**

Estratégias para atingir esta meta incluem:

- ✓ Desconectar calhas e direcionar para áreas vegetadas (Figura 34);
- ✓ Direcionar fluxos de áreas pavimentadas para áreas vegetadas estabilizadas;
- ✓ Quebrar direções de fluxo de largas superfícies pavimentadas;

- ✓ Encorajar escoamento raso em áreas vegetadas;
- ✓ Localizar cuidadosamente áreas impermeáveis para que estas drenem para sistemas naturais, proteções vegetais, áreas de recursos naturais ou zonas (solos) infiltráveis.



Figura 34: Desconexão de áreas impermeáveis

(Fonte: Low Impact Development Center, 2004, p.1)

**Etapa 9 – Modificar/Aumentar os caminhos de fluxo.** O  $T_c$  e as condições hidrológicas locais determinam a taxa de descarga do pico de um evento chuvoso. 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.

A seguir serão descritas as técnicas que podem alterar e controlar o Tc:

- ✓ Maximizar o fluxo raso de superfície;
- ✓ Aumentar e alargar caminhos de fluxo;
- ✓ Alongar e amenizar declividades locais e do lote;
- ✓ Maximizar o uso de sistemas de canais naturais abertos (valos de infiltração);
- ✓ Aumentar e melhorar vegetação do local e do lote.

**Fluxo Raso de Superfície.** O local deve ser nivelado para maximizar a distância do fluxo e minimizar distúrbios florestais ao longo do caminho de fluxo de pós-desenvolvimento, diminuindo, conseqüentemente, o pico de descarga. Velocidade de fluxo, em áreas niveladas, deve ser mantida a mais baixa possível, evitando erosão do solo. Um espalhador de fluxo pode ser utilizado ao longo da borda superior do caminho de proteção da drenagem natural, como também pode ser criado um gramado plano na parte superior da proteção, onde o escoamento possa se espalhar. Talvez seja desnecessário dispor de terra adicional para criar esta área.

**Caminho de Fluxo.** Uma das metas de LID é providenciar o máximo de fluxo raso permitido por jurisdição local, caso esta apresente restrição, para que seja aumentado o tempo para escoamento de telhado e vias privadas até sistemas de canais abertos de drenagem (valos). O projetista pode direcionar estas águas a bio-retenções, trincheiras de infiltração, poços de infiltração ou cisternas localizadas



estrategicamente para capturar o escoamento antes que este alcance o gramado. Nivelamento estratégico do gramado pode ser utilizado para aumentar tanto a rugosidade como o tempo de deslocamento do escoamento superficial.

**Declividades do lote e do local.** Construção de ruas em áreas com declividades íngremes aumenta desnecessariamente o distúrbio no solo local, sendo boas construções as que seguem as linhas de cume e de nivelamento. Declividades íngremes normalmente requerem maiores cortes e aterros, caso as ruas sigam layout convencional.

Técnicas de LID de nivelamento para locais com pouco relevo apresentam declividades de um máximo de 1% para aumentar infiltração e tempo de deslocamento. A área construída não necessita receber aplicação de práticas de LID, contanto que fora desta os impactos sejam regulados. O projetista é responsável por assegurar que a declividade do lote não cause inundações durante um evento de 100 anos de  $T_r$ , com a área construída apresentando declividade de 4% (Figura 35).

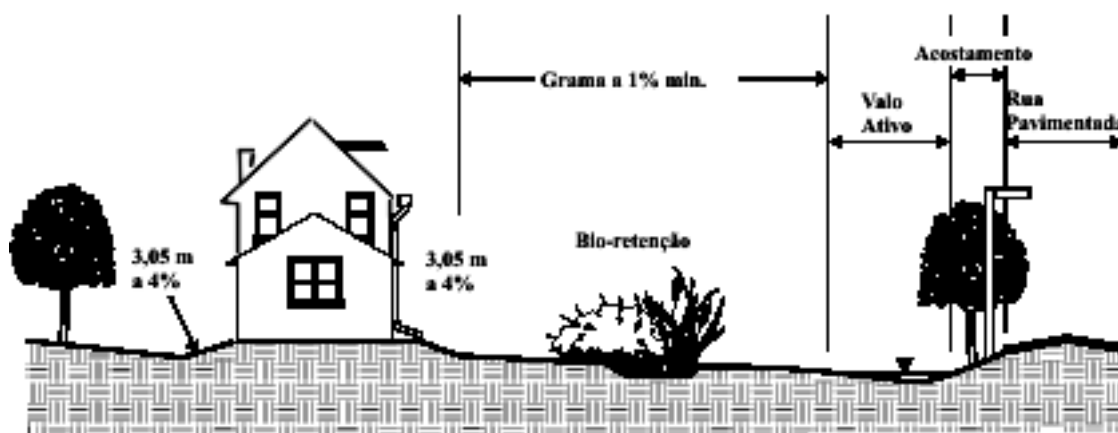


Figura 35: Nivelamento do lote.

(Fonte: Prince George's County, 1999a, p. 56)

**Canais abertos.** Para suavizar problemas de inundação e reduzir a necessidade de sistemas de drenagem convencionais, sistemas de drenagem abertos compostos por pedregulhos ou vegetação devem ser providenciados. Nivelamento, controles de infiltração e terraços podem ser utilizados para reduzir a quantidade do escoamento.

**Vegetação local.** Replanteio de áreas niveladas, plantio, ou preservação de vegetação existente podem reduzir a taxa do pico de descarga pela criação de rugosidade adicional, bem como, por providenciar retenção adicional, reduzindo o volume de escoamento superficial e aumentando o tempo de deslocamento. Engenheiros e paisagistas deveriam conectar áreas de proteção vegetadas com áreas florestais ou vegetadas existentes para ganhar créditos por retenção/detenção pela redução de volume e pico. Esta técnica tem o benefício adicional de providenciar habitat, além de melhorar esteticamente a comunidade.

**Etapa 10 – Comparar hidrologia de pré e pós-desenvolvimento.** Neste ponto do planejamento, o projetista já é capaz de avaliar a hidrologia de pré e pós-desenvolvimento, quantificando o nível de controle providenciado pelo processo de planejamento, bem como a necessidade remanescente de controle a ser efetuado pelo uso de IMPs.

**Etapa 11 – Completar planejamento local de LID.** Completar o planejamento local envolve o desenvolvimento de um procedimento iterativo de projeto. Com base nos resultados da avaliação hidrológica, a necessidade por controles adicionais é identificada, sendo atingidas por emprego de IMPs. Um

procedimento iterativo de tentativa-e-erro é efetuado até que todos os requerimentos de gestão sejam atingidos. Caso IMPs não sejam suficientes, controles convencionais podem ser empregados, caracterizando um sistema híbrido. A solução, portanto, 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.

### **Considerações hidrológicas**

A preservação do regime hidrológico de pré-desenvolvimento local pode ser aproximada pela consideração do volume e da taxa de pico do escoamento, frequência e duração de chuvas, e gestão da qualidade da água, critérios que facilitam a comparação entre os cenários de pré e pós-urbanização. Técnicas de LID controlam o espectro de eventos chuvosos inferiores à chuva de projeto para todos estes critérios.

**Controle do volume:** Manutenção do coeficiente de escoamento pode ser realizada por compensação, pelo ganho de abstração de chuvas, por intermédio de considerações de projeto e planejamento.

**Controle da vazão de pico:** LID é projetado para manter a descarga de pico de pré-desenvolvimento para todas as chuvas inferiores à de projeto.

**Controle da frequência/duração de fluxo:** A duração e frequência para as condições de pós-desenvolvimento devem ser quase idênticas aos casos de pré-

desenvolvimento, para a utilização de LID. Os impactos potenciais na sedimentação e erosão e na qualidade de habitat de rios a jusante podem ser minimizados.

**Controle de qualidade da água:** LID é projetado para absorver pelo menos os primeiros 10 mm de escoamento de áreas impermeáveis pelo uso de práticas de retenção. O uso de controles distribuídos de IMPs resulta em níveis muito maiores de tratamento de qualidade pelos seguintes motivos:

- a) Absorve normalmente acima de 10 mm e freqüentemente mais de 50 mm de escoamento, tratando volume maior que o escoamento anual;
- b) Este controle do volume está normalmente associado a aumento do Tc e diminuições de velocidades de fluxo, reduzindo a capacidade de transporte de poluentes e cargas;
- c) LID apóia práticas de prevenção à poluição pela alteração de atividades humanas para reduzir a introdução de poluentes ao ambiente.

### **Planejamento hidrológico do lote**

O planejamento do lote consiste na melhoria do potencial de escoamento, *i.e.*, redução para aproximação aos padrões naturais, que pode ser avaliado pelo *Curve Number* (CN), na manutenção do Tempo de Concentração (Tc) e na microgestão por práticas integradas locais (IMPs) para mitigação dos impactos inevitáveis (Prince George's County, 1999b).

**a) Melhoria do potencial de escoamento por LID:** O cálculo do potencial de escoamento se baseia na avaliação detalhada da cobertura existente e proposta, de modo que uma representação precisa do potencial possa ser obtida. Este cálculo requer do engenheiro a investigação de alguns parâmetros-chave associados com LID os quais seriam:

- a) Tipo de cobertura;
- b) Percentagem e conectividade de áreas impermeáveis;
- c) Tipo de solo e textura e;
- d) Condições antecedentes de umidade do solo.

Utilizando a abordagem do SCS *Curve Number* (CN), uma comparação entre o lote tipo convencional (E.U.A.) e o de LID é apresentada na Figura 36. O CN de LID se baseia na avaliação e melhoria dos parâmetros da cobertura do solo listados acima.

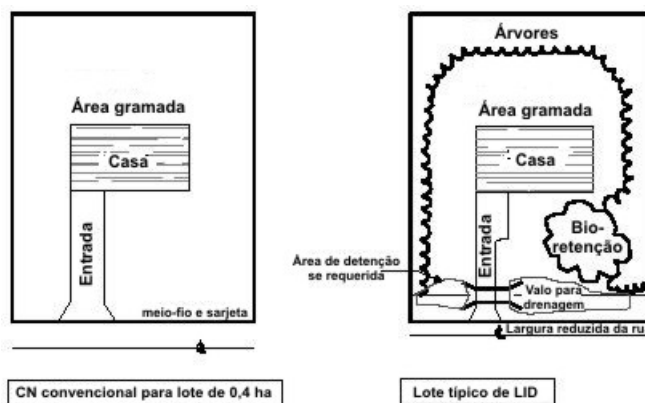


Figura 36: Alteração da configuração do lote pela aplicação de LID.

A Figura 37 ilustra a resposta hidrológica obtida pela utilização de técnicas de LID para redução de áreas impermeáveis e aumento de volume de armazenamento. Observe a aproximação do hidrograma existente obtida pela melhoria do CN.

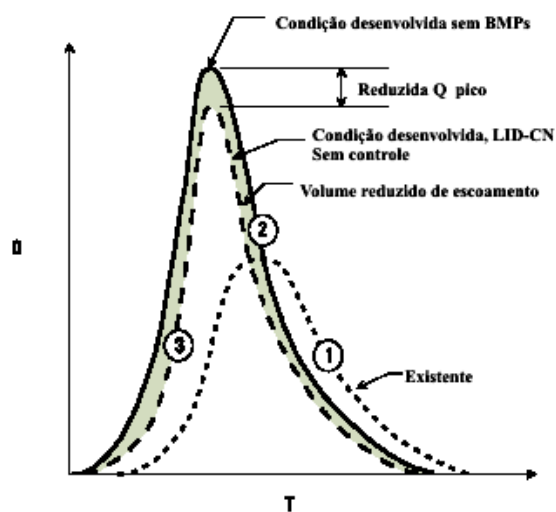


Figura 37: Melhoria do CN por técnicas de LID

(Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 19)

O QUADRO 8 demonstra quanto o planejamento local de LID pode alterar os componentes do CN, resultando em CN menor e maior infiltração.

**b) Manutenção do Tempo de Concentração:** Para manter o  $T_c$ , um processo iterativo que analise diferentes combinações das técnicas (ver QUADRO 9) apropriadas pode ser necessário.

A Figura 38 ilustra a resposta hidrológica para manutenção de iguais  $T_c$ s de pré e pós-desenvolvimento. Observe que o  $T_c$  foi igualado ao de pré-desenvolvimento, obtendo perdas de volume e taxa de pico apenas por redirecionar e divergir fluxos e por desconectar áreas impermeáveis.

QUADRO 8: TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO DE LID PARA REDUÇÃO DO CN DO LOTE.

Opções sugeridas para alteração do CN	Limitar o uso de calçadas	Redução de comprimento e largura de ruas	Redução de comprimento e espessura 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
<b>Tipo de cobertura</b>				X	X			X	X	X
<b>Percentual de impermeabilidade</b>	X	X	X					X		
<b>Grupo hidrológico de solo</b>				X		X				
<b>Condição hidrológica</b>				X	X	X				
<b>Desconexão de áreas impermeáveis</b>	X	X	X							
<b>Armazenamento e infiltração</b>							X			X

Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 18

Em locais de LID, os volumes de fluxo concentrado e em canais fechados (encanamentos) devem ser minimizados.

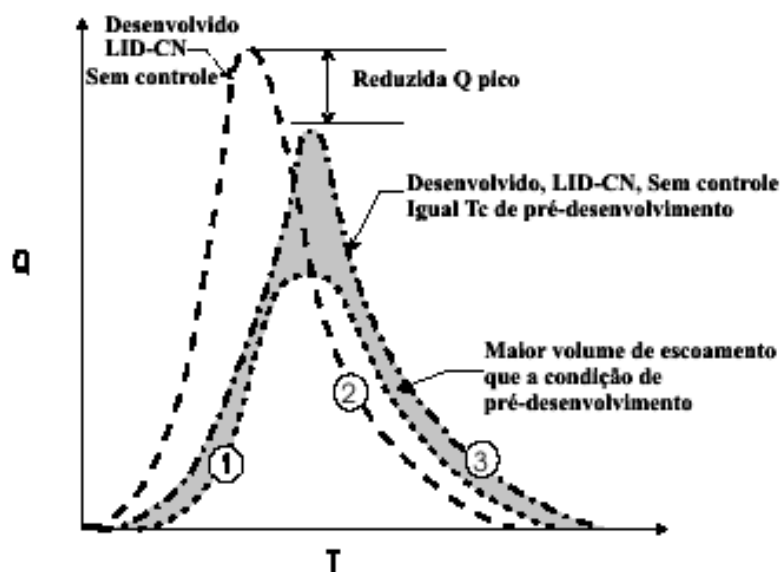


Figura 38: Manutenção do Tc por técnicas de LID

(Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 21)

Hidrograma 1 corresponde à condição de pré-desenvolvimento. Hidrograma 2 mostra os benefícios da utilização de técnicas de LID para melhoria do potencial de escoamento. Hidrograma 3 representa os efeitos da utilização de técnicas de LID para manutenção do Tc.

QUADRO 9: TÉCNICAS DE PLANEJAMENTO PARA MANUTENÇÃO DO TC DO LOTE.

Objetivo de LID	Técnica de LID									
	Bio-retenção 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
Reduzir caminhos de fluxo (divergir ou redirecionar)		X	X	X		X	X	X		
Aumentar rugosidade “n”	X		X	X	X	X	X	X		X

Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 22

### c) Manutenção do volume de pré-desenvolvimento

Após a utilização de opções que reduzem o potencial de escoamento e que mantêm o Tc ter sido explorada, reduções adicionais ao volume de escoamento devem ser completadas por técnicas de gestão distribuídas no lote, caso os objetivos ainda não tenham sido alcançados. A meta é selecionar a combinação apropriada de



técnicas de gestão que simulem as funções hidrológicas das condições de pré-desenvolvimento para manter o CN e o volume correspondente. Locais de LID usam retenções para atingir esta meta, sendo estes dispositivos posicionados em partes individuais para providenciar controles de volume na fonte.

Práticas de gestão integrada que mantêm o volume de armazenamento natural incluem, embora não se limitem aos seguintes:

- ✓ Bio-retenções,
- ✓ Trincheiras de infiltração,
- ✓ Planos de infiltração e,
- ✓ Barris de chuva.

Com o aumento do volume armazenado pela retenção há uma redução correspondente na taxa de escoamento do pico. Se a quantidade suficiente é armazenada, o pico pode ser reduzido para um nível igual ou inferior a taxa de pré-desenvolvimento. Este fato pode não acontecer, quando a alteração do valor do CN é sensível, sendo menos prático atingir o controle do fluxo utilizando o controle do volume somente.

Na Figura 39, o hidrograma 1 representa o hidrograma de pós-desenvolvimento para um local onde se utiliza LID IMPs. Por causa do armazenamento de retenção do IMP, escoamento não é desprendido até que o volume de armazenamento máximo seja atingido. Linha A representa o limite de

armazenamento de retenção. Hidrograma 2 é o hidrograma de saída de um IMP de retenção. O armazenamento mantém o volume e controle de pico de pré-desenvolvimento. Para esta situação, a parte descendente do hidrograma representa a condição onde a entrada (hidrograma 1) iguala a saída (hidrograma 2).

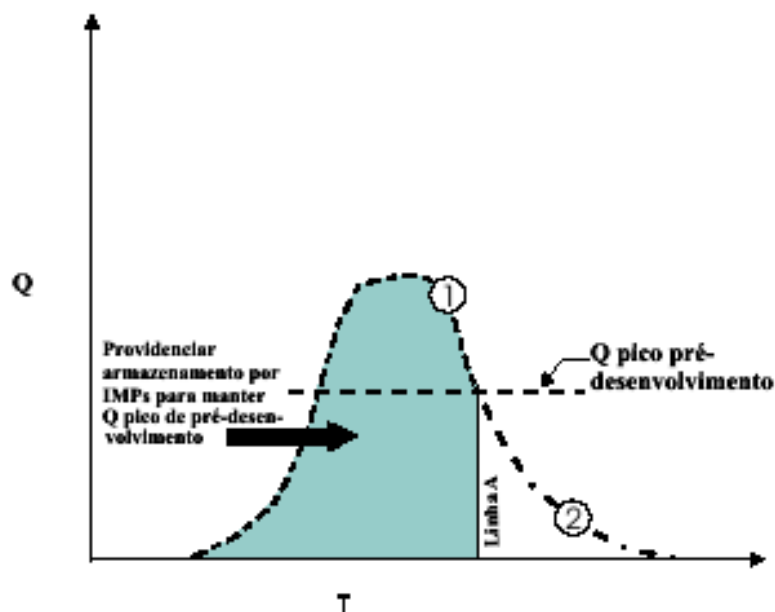


Figura 39: Armazenamento necessário para manutenção da descarga de pico.

(Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 23)

#### d) Necessidade potencial de armazenamento de detenção adicional

Embora o  $T_c$  seja mantido no nível de pré-desenvolvimento e o CN tenha sido melhorado, em alguns casos o armazenamento por detenções adicionais é necessário para manter a taxa de pico natural devido à distribuição espacial do armazenamento de retenção providenciado (*i.e.*, áreas de armazenamento não são uniformemente distribuídas no local). Técnicas de LID que providenciem armazenamento por detenção incluem, mas não se limitam às seguintes:

- a) Valos com represas de retenção (*check dam*), encanamento restrito, e dispositivo de entrada;
- b) Valos mais largos;
- c) Barris de chuva;
- d) Jardim suspenso;
- e) Estruturas de divergência.

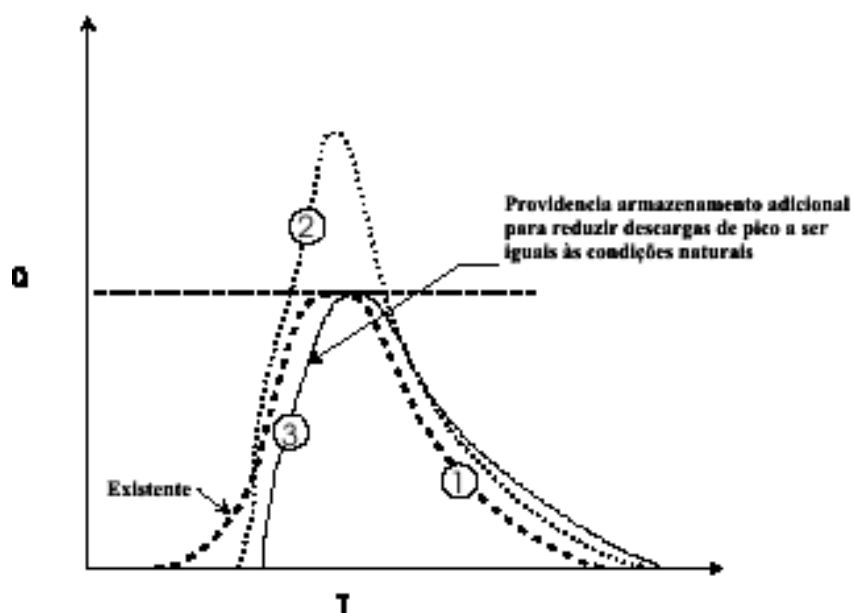


Figura 40: Efeito de retenção adicional para controle do pico de descarga.

(Fonte: Prince George's County, 1999b, p. 24)

O efeito de armazenamento adicional por retenções é ilustrado na Figura 40, onde o hidrograma 1 se refere ao hidrograma natural, o hidrograma 2, à resposta da condição de pós-desenvolvimento que incorpore práticas de LID de retenção e o hidrograma 3 ilustra o efeito de retenções adicionais para reduzir a descarga de pico às condições de pré-desenvolvimento.

**LID IMPs: Identificação, seleção e detalhamento.**

O processo de seleção e dimensionamento começa com a definição das metas de controle utilizando técnicas hidrológicas. Os seguintes passos identificam as oportunidades para controles suplementares e guiam o projetista:

**Etapa 1: Definição de controles hidrológicos requeridos.** Seguindo os passos descritos para análise hidrológica, funções hidrológicas podem ser quantificadas com respeito a vários parâmetros de projeto, incluindo volume, descarga de pico, frequência e duração, recarga subterrânea e parâmetros de qualidade. Quando estes parâmetros são obtidos para condições de pré-desenvolvimento, eles definem e quantificam os controles hidrológicos requeridos para um local específico.

**Etapa 2: Avaliação de oportunidades e restrições locais.** Cada local apresenta características e oportunidades únicas. LID encoraja a inovação e a criatividade na gestão do planejamento de impactos locais. Oportunidades são caracterizadas por localidades onde condições físicas como espaço, características de infiltração e declividades são agradáveis à instalação de IMPs. Estas mesmas condições podem restringir o uso de IMPs. O QUADRO 10 mostra as restrições de cada IMP.

O projetista deve levar em consideração os seguintes fatores para seleção de IMPs:

QUADRO 10: RESTRIÇÕES PARA APLICAÇÃO DE IMPS.

	<b>Bio-retenção</b>	<b>Poço seco</b>	<b>Faixa Filtrante/Proteção</b>	<b>Valos: Gramados, Infiltração, Molhados</b>	<b>Barris de Chuva</b>	<b>Trincheira de Infiltração</b>
<b>Espaço Requerido</b>	Alcance 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 to 1,2 m	Alcance 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 de 4,6 a 6,1 m	Largura da base: Mínimo = 0,6 m, Máximo = 1,8 m	Não influencia	Alcance 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 > 0,69 cm/hora são recomendados. Limitação de solos pode ser superada com uso de drenos subterrâneos	Solos permeáveis com taxas de infiltração > 0,69 cm/hora são recomendados	Solos permeáveis trabalham melhor, mas solo não é um limitante.	Solos permeáveis providenciam melhor desempenho hidrológico, mas solo não é um limitante. Seleção do tipo de valo é influenciada pelo solo.	Não influencia	Solos permeáveis com taxas de infiltração > 1,32 cm/hora são recomendados
<b>Declividades</b>	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto.	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto. Deve estar localizada abaixo do gradiente de edificações e fundações	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto.	Declividade lateral do valo: 3:1 ou mais aplainada Declividade longitudinal: mínima = 1.0%; máxima baseada em velocidades permissíveis.	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto para localização de saída de barris.	Usualmente não é um limitante, mas uma consideração de projeto. Deve estar localizada abaixo do gradiente de edificações e fundações
<b>Lençol Freático/Leito rochoso</b>	0,6 a 1,2 m livres acima do lençol freático/leito rochoso é recomendado	0,6 a 1,2 m livres acima do lençol freático/leito rochoso é recomendado	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>	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada	Não influencia	Distância mínima de 3 m abaixo do gradiente de edificações e fundações é recomendada
<b>Profundidade Máxima</b>	Profundidade de 0,6 a 1,2 m dependendo do tipo de solo	Profundidade de 1,8 to 3 m dependendo do tipo de solo	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	Profundidade de 1,8 a 3 m dependendo do tipo de solo
<b>Manutenção</b>	Baixo requerimento, proprietário pode incluir na manutenção paisagística local	Baixo requerimento	Baixo requerimento, manutenção paisagística rotineira	Baixo requerimento, manutenção paisagística rotineira	Baixo requerimento	Moderada a alta

**Requerimentos de espaço.** LID IMPs não requerem que uma área seja isolada e dedicada à gestão de águas pluviais, pois se trata de práticas integradas e distribuídas ao longo de toda paisagem local.

**Solos.** Solos e subsolos são considerações importantes no processo de planejamento, hidrologia e seleção de IMPs. O uso de práticas de micro-gestão, *e.g.*, o uso de drenos subterrâneos para providenciar sub-drenagem positiva para práticas de bio-retenção, auxilia a superar muitas das tradicionais limitações do solo para seleção e uso de IMPs.

**Lençol freático.** A presença de lençol freático com níveis altos urge por precauções especiais no planejamento local e gestão de águas pluviais. O critério geral é o de providenciar pelo menos 0,6 a 1,2 m de separação entre o fundo do IMP e o topo da mais alta elevação sazonal do lençol freático. O potencial para contaminação também deve ser considerado, especialmente quando focos paisagísticos urbanos estão envolvidos.

**Declividades.** Quando o uso de um controle de drenagem tradicional mais abrangente é considerado, declividade pode ser um fator limitante. Para a utilização de IMPs, raramente a declividade coloca-se como fator limitante, passando a ser simplesmente um elemento de projeto que fica incorporado ao planejamento hidrológico funcional paisagístico.

**Proximidade a fundações.** Considerações como distância, profundidade e declividade devem ser observadas para não posicionar IMPs de infiltração próximas a fundações de edificações ou outras estruturas.

**Profundidade máxima.** Por sua natureza, IMPs não requerem muita profundidade, não sendo este um empecilho. Células de bio-retenção, por exemplo, normalmente permitem somente 15 cm de profundidade de armazenamento, e 0,6 a 1,2 m de profundidade para a zona de plantio no solo.

**Custo de manutenção.** Controles tradicionais apresentam custo de manutenção muito alto, podendo este igualar ou superar o custo inicial de construção. Em comparação, muitos dos IMPs requerem pouco mais que os valores normalmente empregados em manutenção paisagística. Adicionalmente, estes custos são de responsabilidade dos proprietários individuais em detrimento aos habituais onerados pelo poder público. Comunidades são aconselhadas a reter o conhecimento para manter seus locais, caso falhe o funcionamento dos IMPs.

Como previamente discutido, um dos conceitos chave de LID consiste em planejar controles para áreas pequenas (*i.e.*, micro sub-bacias) por práticas de micro-gestão. Esta combinação permite ao projetista incorporar muitas das práticas de LID à paisagem e a superar restrições potenciais com respeito a espaço, solo, declividades e outros fatores disponíveis, o que não seria possível por métodos convencionais.

**Etapa 3: Busca por práticas candidatas.** Com base na avaliação de restrições e oportunidades, uma comparação com as práticas disponíveis é realizada. IMPs inapropriadas ou inadequadas são excluídas de considerações posteriores. A busca deve considerar tanto as restrições quanto às funções qualitativas (ver TABELA 1) e hidrológicas identificadas (ver QUADRO 2).

Importante salientar que não se trata de uma escolha de um menu de práticas preferidas disponíveis, e sim um processo de projeto e planejamento integrado. As práticas podem não ser suficientes por si sós sem a combinação com procedimentos de planejamento.

**Etapa 4: Avaliação de IMPs candidatas em várias configurações.** Após ter sido identificadas, as IMPs candidatas são empregadas conforme apropriado ao local, sendo aplicados os métodos hidrológicos descritos para determinar se a combinação de IMPs atinge os objetivos de controle hidrológico. Normalmente não se obtém os objetivos na primeira tentativa, sendo necessário um processo iterativo para ajustar o número e dimensões de IMPs até que os objetivos hidrológicos sejam otimizados.

**Etapa 5: Seleção de configuração e projeto preferidos.** O processo iterativo de projeto define um número potencial de combinações e misturas de IMPs. O projetista tem a opção de utilizar uma variedade de IMPs, de acordo com os fatores de projeto, para alcançar uma configuração ótima ou preferida que providencie um nível de controle hidrológico a custos razoáveis.

**Etapa 6: Projetar controles convencionais se necessário.** Se por algum motivo os objetivos hidrológicos não forem alcançados com a utilização de IMPs, pode ser necessário adicionar alguns controles convencionais. Algumas restrições, *e.g.*, baixa permeabilidade de solos, dureza de rochas, a pressão de lençol freático com nível alto, ou uso intensivo de terra (locais comerciais e residenciais) podem impedir o uso de IMPs suficientes, particularmente para o critério de controle do pico



de descarga. Para estas situações, controles adicionais convencionais podem ser utilizados para atingir este objetivo.

### **Metodologia para avaliação hidrológica**

A avaliação hidrológica se realiza para determinar o nível de controle requerido para atingir as metas de gestão para locais de LID. O nível requerido pode ser atingido por ferramentas hidrológicas e controles suplementares. A avaliação hidrológica é desempenhada pela modelação e técnicas de análise, onde sua saída providencia a base para comparação pelos quatro critérios de análise (*i.e.*, volume, pico, duração e qualidade). Esta segue uma série de passos resultando na definição de carências de gestão hidrológica e controle.

**Etapa 1: Delineação de áreas de bacias e sub-bacias.** Pode ser necessário considerar padrões de drenagem previamente modificados, ruas, ou sistemas de encanamentos pluviais.

**Etapa 2: Determinação da chuva de projeto.** (ver Anexo A). Requerimentos reguladores para chuvas de projeto podem ser estipulados por regulamentações locais, podendo limitar ou restringir o uso de técnicas de LID ou necessitar combiná-las para o emprego de técnicas estruturais.

**Etapa 3: Definição de técnicas de modelagem a serem empregadas.** Estas técnicas são dependentes do tipo de bacia, da complexidade das considerações de planejamento, da familiaridade com o modelo e do nível de detalhamento desejado. Certos modelos utilizam métodos de estimativa simplificados enquanto

outros providenciam representação detalhada baseada nas interações hidrológicas. Os dados necessários e a quantidade de análises dependem do tipo de modelo.

**Etapa 4: Compilação de informações para condições de pré-desenvolvimento.** Incluindo área, solos, declividades, uso de terra, e impermeabilidade (conectada ou não).

**Etapa 5: Avaliação das condições de pré-desenvolvimento e desenvolvimento de medidas de referência.** Aplicam-se as condições de pré-desenvolvimento ao modelo, utilizando os resultados para desenvolver as condições de referência pela utilização das medidas de avaliação.

**Etapa 6: Avaliação dos benefícios de planejamento e comparação com a referência.** As ferramentas de planejamento providenciam o primeiro nível de mitigação de impactos hidrológicos. A análise por modelos avalia os benefícios cumulativos do processo de planejamento em termos das medidas de avaliação, sendo esta comparação utilizada para identificar as necessidades de controle hidrológico remanescentes.

**Etapa 7: Desenvolvimento de Práticas de Gestão Integradas (IMPs).** A necessidade de controle remanescente pode ser sanada pelo uso de IMPs, representando um segundo nível de mitigação de impactos hidrológicos. Uma avaliação hidrológica que combine os controles providenciados pelo planejamento e pelos IMPs pode ser conduzida. Caso o volume e o pico de descarga ainda não tenham atingido as condições de pré-desenvolvimento, IMPs adicionais passam a ser localizados para atingir a condição ótima.

**Etapa 8: Avaliação de necessidades suplementares.** Caso ainda seja necessária a utilização de alguma medida mitigadora, seleção e listagem de técnicas adicionais de gestão devem ser consideradas. Métodos convencionais de controle, *e.g.*, reservatórios de detenção e banhados construídos, podem ser utilizados em áreas onde o emprego de IMPs seja limitado, devido às condições do solo ou ao alto nível de lençol freático. A avaliação hidrológica pode ser novamente empregada para comparar técnicas suplementares de gestão e identificar soluções preferenciais. Técnicas iterativas são empregadas na busca por soluções ótimas, analisando numerosas configurações possíveis de planejamento e gestão. Avaliações hidrológicas podem ajudar na identificação destas soluções antes da obtenção de custos de construção e do detalhamento do projeto.

- **Modelos para avaliação hidrológica**

Uma variedade de modelos se encontra disponível para simular o procedimento chuva-vazão. A seleção do modelo adequado dependerá do nível de detalhamento e rigor requeridos para a aplicação e da quantidade de dados disponíveis para preparar e testar os resultados. Cinco técnicas têm sido empregadas, sendo duas para simulação contínua (*Hydrologic Simulation Program – Fortran* e *Storm Water Management Model - SWMM*) e as três restantes para simulação de eventos simples (TR-55/TR-20, HEC-1 e Método Racional). O QUADRO 11 compara estes modelos e seus atributos.

O método mais simples é o Racional, realizando análise simples de chuva-vazão. Modelos mais complexos, com simulação contínua, realizam avaliações quanto à qualidade, armazenamento e tratamento, requerendo, no entanto, mais

dados e dedicação pessoal. SWMM realiza ainda propagação de fluxos. O modelo TR-55/TR-20 corresponde ao método do antigo Soil Conservation Service (SCS), atual Natural Resources Conservation Service (NRCS), para separação do escoamento e propagação pelo hidrograma unitário triangular.

QUADRO 11: ATRIBUTOS DE MODELOS PARA AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA.

Atributo	Modelo				
	HSPF	SWMM	TR-55/TR-20	HEC-1	Método Racional
<b>Agência Patrocinadora</b>	USEPA	USEPA	NRCS (SCS)	USACE (HEC)	
<b>Tipo de Simulação</b>	Contínua	Contínua	Evento Simples	Evento Simples	Evento Simples
<b>Análise de qualidade</b>	Sim	Sim	Não	Não	Não
<b>Análise Chuva-Vazão</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Propagação de fluxo em sistemas de condutos</b>	Não	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Equações dinâmicas de propagação de fluxo</b>	Não	Sim	Sim	Não	Não
<b>Estrutura reguladora, inundações</b>	Não	Sim	Não	Não	Não
<b>Análise de Armazenamento</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Análise de Tratamento</b>	Sim	Sim	Não	Não	Não
<b>Quantidade de Requerimento de Dados e de Pessoas</b>	Alta	Alta	Média	Média	Baixa
<b>Complexidade do modelo em geral</b>	Alta	Alta	Baixa	Alta	Baixa

Fonte: Prince George's County, 1999a, p. 57

## **2.2 MECANISMOS INSTITUCIONAIS**

Para incentivar o emprego efetivo de práticas sustentáveis a novos empreendimentos, toda uma estrutura institucional necessita estar apta a gerir com base em legislação atualizada, mediante planejamento, fiscalização, avaliação continuada da efetividade das medidas, *e.g.*, monitoramento, capacitação de recursos humanos, estimulando a implantação de exemplos de sucesso. Para tanto, autonomia administrativa e financeira deve dar suporte a esta estrutura, com incentivos ao desenvolvimento técnico-científico orientado a subsidiar o planejamento da gestão.

### **2.2.1 Legislação**

Nos Estados Unidos, Canadá e Austrália, empregam-se manuais nacionais elaborados com a finalidade de direcionar o desenvolvimento do manual local, *i.e.*, município, bacia ou condado. Normas estabelecidas em legislações locais prescrevem os elementos a serem observados no dimensionamento dos dispositivos, possibilitando aos manuais atualizações mais frequentes por estes apenas servirem de apoio ao projeto dos dispositivos.

O processo de integrar estratégias de LID 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.

### **Quanto ao Uso do Solo**

Todo planejamento de edificações observa, inicialmente, a regulamentação de zoneamento do uso do solo, a qual providencia uma relação visual e funcional entre crescimento e urbanização, pré-designando o uso e as características físicas de uma área geográfica desenvolvida para atingir metas de planejamento urbano. Os requisitos de zoneamento procuram regular a densidade e a geometria de empreendimentos, especificando larguras, estacionamentos de ruas e requisitos de drenagem, definindo também áreas de proteção de recursos naturais. A título de exemplificação, o QUADRO 12 é disposto sumarizando requerimentos comuns de zoneamento.

Na maior parte dos casos, aproximações de LID precisam atingir requisitos de zoneamento local, embora estas sejam normalmente inflexíveis e restrinjam opções de desenvolvimento de certos parâmetros de planejamento. Conseqüentemente, agências de planejamento que desejem otimizar os benefícios econômicos e ambientais urgirão por adoção de opções de zoneamento flexíveis, facilitando o uso desta tecnologia. As estratégias de LID empregam opções de atingir objetivos ambientais sem impedir o crescimento urbano, providenciando sensibilidade ambiental ao processo de zoneamento e subdivisão superior ao atingido por zoneamento convencional (Prince George's County, 1999a). O QUADRO 13 apresenta algumas opções de alternativa de zoneamento.

QUADRO 12: COMPONENTES DE REGULAMENTAÇÕES DE ZONEAMENTO

<b>Requerimento de Zoneamento</b>	<b>Propósito</b>
<b>Restrição de uso de terra</b>	Separar usos residenciais, comerciais e industriais e/ou especificar a percentagem de mistura destes usos
<b>Requerimentos de Layout do Lote</b>	
<b>Lotes de igual tamanho ou com formato similar</b>	Providenciar harmonia no uso residencial ou em distritos
<b>Tamanhos mínimos do lote</b>	Providenciar harmonia no uso residencial ou em distritos
<b>Requerimentos da fachada</b>	Providenciar distinção adicional entre zonas residenciais
<b>Recuos fixos para pátios frontais, laterais e de fundo</b>	Providenciar distinção adicional entre zonas residenciais e pátio lateral; providenciar harmonia em zonas residenciais; controlar cobertura por edificações.
<b>Requerimentos de Layout de Ruas</b>	
<b>Largura de Ruas</b>	Assegurar segurança veicular e de pedestres e evitar ônus ao órgão público.
<b>Retornos de Ruas</b>	Prevenir problemas indevidos de segurança quanto a fogo; providenciar acesso veicular adequado.
<b>Calçadas e passagens de pedestres</b>	Assegurar segurança veicular e de pedestres e evitar ônus ao órgão público.
<b>Desenvolvimento residencial e comercial</b>	Assegurar segurança veicular e de pedestres e evitar ônus ao órgão público.
<b>Dispositivos comuns ou compartilhados</b>	Prevenir problemas ambientais ou de segurança de dispositivos sem manutenção como sistemas sépticos compartilhados ou estradas.
<b>Drenagem e Nivelamento</b>	
<b>Meios-fios/sarjetas e drenos de chuva</b>	Prevenir ônus indevido do desenvolvimento no escoamento fora do lote, ruas, e edificações
<b>Estruturas de controle de qualidade e quantidade de águas pluviais</b>	Prevenir ônus indevido de desenvolvimento de águas de fora do lote, ruas, e edificações
<b>Nivelamento para promover drenagem positiva</b>	Prevenir problemas de erosão do solo devido à drenagem

Adaptado de Prince George's County, 1999a, p. 27.

QUADRO 13: OPÇÕES ALTERNATIVAS DE LID PARA ZONEAMENTO.

<b>Opção de Zoneamento</b>	<b>Funções Promovidas</b>
<b>Distritos de Cobertura</b>	Usa zoneamento existente e providencia padrões adicionais de regulação
<b>Zoneamento de Desempenho</b>	Zoneamento flexível baseado em metas gerais do local partindo da preservação de funções locais
<b>Zoneamento de Incentivo</b>	Providencia por dar e tirar compromisso em restrições de zoneamento permitindo maior flexibilidade para promover proteção ambiental
<b>Zoneamento de Cobertura de Impermeabilidade</b>	Opções de subdivisão do layout baseiam-se nos limites locais do total de impermeabilidade
<b>Zoneamento com base na bacia</b>	Usa uma combinação dos princípios acima para atingir uma capacidade ou meta de bacia predeterminada

Adaptado de Prince George's County, 1999a, p. 26.

### **Quanto à Drenagem Urbana**

O mecanismo legal para o controle da drenagem pode tanto ser de caráter obrigatório, *e.g.*, regulamentações americanas da bacia de Green Cove e do condado de Pierce, ou voluntário, *e.g.*, regulamentações americanas das cidades de Lacey e Tumwater e do condado de Issaquah (Puget Sound Action Team, 2003). Com a implantação de regulamentações, uma certificação de propriedade de LID passa a ser entregue para àquelas que atingirem os objetivos destas.

A regulamentação serve como um guia de projeto, permitindo e até estimulando a criatividade. Propõe-se que um comitê revise propostas de projetos, podendo aprovar variações para o código de desenvolvimento da cidade visando acomodar técnicas de construção não-tradicionais. O estabelecimento de um grupo coordenador para avaliação da efetividade das medidas, atualização e revisão de longo-período da legislação e diretrizes ao longo do aprendizado obtido de sua



aplicação se mostra como uma oportunidade particularmente atraente (Hedgcock and Mouritz, 1993).

- **Regulamentação com emprego facultativo de LID**

Regulamentações que facultam o emprego de tecnologias de LID podem:

- ✓ Autorizar o “diretor de obras públicas” (em cidades pequenas, *e.g.*, Issaquah - 13790 habitantes em 2003) ou órgão correlato a liberar a execução de desvios à regulamentação vigente, caso estes promovam benefícios e segurança, como a utilização de estratégias de LID (ver Anexo B);
- ✓ Estabelecer padrões de desempenho para desenvolvimento, *e.g.*, preservação de 60% (cidade de Lacey) ou 65% (cidade de Tumwater) de área de habitat natural, e obtenção de efetividade zero ou próximo disso para áreas impermeáveis (ver Anexo C).

- **Regulamentação com emprego obrigatório de LID**

Para regulamentações que obrigam novos empreendimentos e reformas a utilizar as estratégias de LID, os padrões de desempenho devem ser estabelecidos, bem como, substituições aos requerimentos de zoneamento.

A seguir será apresentado um esboço do capítulo estabelecendo a meta, os objetivos de desempenho e os padrões prescritivos para certificação de LID no condado de Pierce:

*“A meta de LID é gerenciar as águas pluviais geradas de novos empreendimentos e reformas, para que não haja impactos negativos a propriedades adjacentes e/ou à jusante nem degradação às águas subterrâneas ou superficiais como a leitos, ravinas, banhados e rios.*

*Esta deve ser atingida através dos seguintes objetivos:*

- ✓ *Manter e/ou restaurar o volume, frequência, durações e qualidade de água pluviais naturais de pré-desenvolvimento do local. Nas planícies de Puget Sound, as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento estão próximas a escoamento de superfície zero.*
- ✓ *Estabelecer condições de pré-desenvolvimento do local para modelagem hidrológica como vegetação nativa e solo existentes no local anteriores a 1800 d.c., que deveria ser uma cobertura de floresta a menos que informação histórica razoável indique que o local era campo antes da colonização.*
- ✓ *Reter ou restaurar solos nativos e vegetação em 65% da área. Onde os 65% não forem atingidos o empreendedor deve demonstrar como o uso combinado de outras técnicas de LID atingirá a meta final.*
- ✓ *Limitar a área impermeável efetiva para não mais que 10%.*
- ✓ *Reter e incorporar características naturais que promovam infiltração de águas pluviais em local desenvolvido.*
- ✓ *O uso de técnicas tradicionais deve ser utilizado apenas quando todas as outras técnicas de LID tenham sido consideradas e utilizadas ao máximo possível.*
- ✓ *Utilizar bio-retenções, pavimentos permeáveis, dispersão de água por superfícies abertas, restauração do solo, e outros dispositivos dispersos para controlar águas pluviais o mais próximo da origem possível.”(Puget Sound Action Team, 2003).*

### **2.2.2 Gestão**

A experiência australiana (State of Victoria, 2000 *apud* Department of Environment and Heritage, 2002) mostra a necessidade de aproximar ao máximo o controle institucional da drenagem do foco de implantação de medidas, apresentando ganhos em eficiência e em economia na construção e na manutenção. Os investimentos também sofrem diminuição, por serem amenizadas as perdas no repasse do financiamento, uma vez que o número de questões a serem resolvidas por

cada departamento é menor e sua proximidade do local onde o problema se encontra, maior, em comparação com a gestão municipal.

A conseqüente aproximação entre engenheiros, paisagistas e planejadores urbanos possibilita obter soluções ótimas para resolver problemas de drenagem urbana e projetar de maneira econômica com viabilidade técnica e ambiental. Segundo Pômpeo (1999), a multidisciplinaridade dos processos requer a integração das áreas, com maior clareza e dissolução de interfaces entre departamentos. Por exemplo, o abastecimento de água é realizado a partir de mananciais que podem ser contaminados pelo esgoto cloacal, pluvial ou por deposição de resíduos sólidos (Tucci, 2004).

Em algumas localidades, o controle de erosão e de sedimentos, altamente correlacionáveis com a qualidade da água, é realizado em concomitância com o controle do escoamento. Práticas de LID são capazes de executar todos estes controles sem a necessidade de grandes alterações institucionais e perdas financeiras. Um exemplo de controle de erosão e sedimentação, orientado por regulamentação, é a possibilidade de executar movimentações de terra apenas no verão, como no condado de Green Cove (Puget Sound Action Team, 2003).

A adoção de parcerias com países desenvolvidos quanto à drenagem urbana, *e.g.*, parceria Polônia - Suécia (Niemczynowicz, 1993b), e o incentivo a parcerias entre os setores público e privado no desenvolvimento de projetos demonstrativos podem ser caminhos para comprovar as vantagens de uma aplicação mais sustentável do controle de drenagem. Desenvolver projetos-piloto pequenos e bem definidos

onde a transferência de idéias e abordagens é o maior objetivo talvez seja a ação mais importante para a qual recursos financeiros devem ser alocados (Niemczynowicz, 1995).

### **Financiamento**

A autonomia administrativa e financeira deve ser realidade do setor técnico, a qual facilita o estabelecimento e a implementação de políticas de médio e longo prazo para o setor, contemplando-se tanto a formação de um corpo técnico sólido, quanto o desenvolvimento de programas apropriados de gestão do patrimônio do sistema de drenagem, de monitoramento das variáveis hidráulicas, hidrológicas e ambientais pertinentes, de modelagem hidrológica e hidráulica, de avaliação de efetividade na execução de políticas, etc. (Baptista e Nascimento, 2002). A insuficiência e a descontinuidade temporal dos fluxos financeiros se apresentam como fatores preponderantes para o insucesso da gestão.

A necessidade de encontrar mecanismos de financiamento adequados para a drenagem urbana, de forma independente dos recursos públicos municipais, gerados por impostos esbarra nas dificuldades de tarifação da drenagem (Baptista e Nascimento, 2002).

Se no tocante ao esgotamento sanitário o problema do financiamento pode ser contornado, ainda que parcialmente, pela taxação acoplada ao abastecimento de água, a situação da drenagem das águas pluviais faz intervir outros fatores, constatando-se a dificuldade prática de se obter financiamento por intermédio de política tarifária relativamente simples.

Para novas edificações e reformas, uma proposta para obtenção de fundos consistiria em efetuar cobrança, apenas para empreendimentos que não conseguirem atingir as metas dispostas na regulamentação, pelo despejo de escoamento adicional a que escoaria naturalmente ou de qualidade inferior, de acordo com simulações para as condições de pré-urbanização. A taxa seria proporcional à ausência de controle demonstrada pelos projetistas da edificação no ato da aprovação do projeto. Projetos que atendessem aos critérios estabelecidos nas normas locais ficariam isentos de qualquer possível taxação. Esta proposta necessita de maiores estudos quanto aos critérios a serem avaliados, sendo sugeridos o acréscimo de volume, de pico de descarga, de duração ou até a combinação destes, a serem estabelecidos pelo órgão público responsável.

Do ponto de vista político, cabe ressaltar que a implantação da tarifa de drenagem pluvial implica em uma rejeição inicial por parte dos diferentes atores da política municipal. Assim, a discussão e a participação de toda a comunidade no processo decisório relativo à adoção da taxa são fundamentais, sendo que os aspectos de justificativa técnica e da equidade social de tal cobrança devem facilitar a sua aceitação política.

Dentre as vantagens da utilização de LID consta a possibilidade de governos locais e estaduais terem valores de aquisição de propriedades diminuídos, se a eles couber este custo, por uma necessidade diminuída de controle estrutural de águas pluviais, além dos ganhos em espaço físico e em qualidade de vida da região (Prince George's County, 1999a).

## **Manutenção**

Um componente crítico para o sucesso da drenagem é a manutenção dos dispositivos instalados pelos proprietários ou entidade designada. Aproximações de LID oferecem caminhos mais criativos para controle de escoamento enquanto atingem objetivos múltiplos de desenvolvimento. Dentre as muitas vantagens, inclui-se a redução da escala e transferência de custos de manutenção para níveis suportáveis pelos proprietários, sendo estes mais econômicos, por se tratar, em sua maioria, de manutenção paisagística, manutenção de áreas de proteção vegetal e remoção de lixo e outros resquícios de pontos de passagem de fluxo (Prince George's County, 1999a).

## **Fiscalização e Aprovação de Projetos**

A atuação de uma fiscalização presente e vigorosa se faz importante para o cumprimento das normas incidentes, assim como deve acontecer em toda e qualquer área. Algumas sugestões de atividades que poderiam ser oneradas aos empreendedores para facilitar a administração pelo corpo técnico-institucional seriam:

- a) Comprovação do respeito e preservação às condições de desenvolvimento, incluindo identificação de áreas protegidas (*e.g.*, várzeas, margens e banhados; zonas de conservação florestal e de árvores importantes existentes), zoneamento urbano, características topográficas (declividades íngremes e divisões de sub-drenagem

existentes) e geológicas (solos altamente permeáveis e erosivos) (Prince George's County, 1999a);

- b) Certificação de lisura quanto às ligações de águas servidas, a ser realizada no momento da submissão a avaliação pelo corpo técnico para instalação, reparos na obra ou venda da propriedade (Australia, 2002).

### **Avaliação da efetividade das medidas de controle**

O componente final do projeto de LID inclui o desenvolvimento apropriado do protocolo de monitoramento de pré e pós-desenvolvimento para documentar a efetividade de dispositivos individuais, bem como de todo projeto. Monitoramento eficaz, além de caro, é complicado, sendo necessária uma aproximação cuidadosa. O monitoramento pode seguir a estratégia aplicada para BMPs, como referenciado em Prince George's County (1999a).

Uma proposta de monitoramento do escoamento pluvial estaria associada à conservação das características de projeto do empreendimento, abrangendo quantificação de áreas impermeáveis e desempenho de estruturas de controle do escoamento. A conformidade com o projeto apresentado ao órgão responsável pelo controle da drenagem auxiliaria no conhecimento das vazões provenientes de cada empreendimento. Esta proposta necessita de maiores avaliações quanto à viabilidade de execução, bem como, quanto à satisfação obtida da utilização desta técnica.

Avaliação da satisfação da população diante da implantação desta nova tecnologia pode ser outra atividade para avaliação da efetividade, a qual pode

trabalhar em conjunto com as estratégias de monitoramento, apresentando uma resposta mais completa ao objetivo de acompanhamento das medidas adotadas.

### **Ciência e Tecnologia**

Embora conceitos de LID sejam novos para muitos planejadores nos Estados Unidos, muitas destas técnicas têm sido utilizadas com sucesso na Europa e Ásia por muitos anos. Projetos-piloto construídos por agências do Departamento de Defesa americano (United States, 2004) têm demonstrado efetividade em gerenciar o escoamento, reduzir custos de construção e manutenção e em criar benefícios suplementares, *e.g.*, envolvimento da comunidade.

Avaliação corrente de projetos utilizando aplicações similares a LID indica que estes projetos apresentam aumentado poder de mercado e apreciação competitiva (Hinman, 2001). Aceitação de mercado não é provada, no entanto, projetos demonstrativos providenciam dados valiosos concernentes a custos de projetos de LID comparados aos tradicionais, novas vendas, revendas e apreciação. O condado de Pierce e a Washington State University (WSU) têm desenvolvido representações gráficas de projetos de LID e análises custo-benefício, comparando padrões de projeto tradicionais e aplicações de LID. Estes gráficos e análises podem ser utilizados para introduzir empreendedores e outros interessados ao potencial de mercado dos projetos de LID.

Alguns conselhos e agências de água estiveram analisando um esquema de transferência de direito de descarga de águas pluviais para novas edificações, o que possibilitaria aos empreendedores a compra de direitos de edificações que



mantiveram suas taxas de águas pluviais iguais ou inferiores às de pré-desenvolvimento (Australia, 2002), sendo estes modelos atualmente empregados em condados americanos, *e.g.*, no condado de Sarasota (Flórida, E.U.A.) (Sarasota County, 2004). A criação de um mercado de despejo e o seu estímulo necessita ainda de maiores estudos quanto à sua forma e viabilidade, tanto ambiental quanto financeiramente.

O planejamento do controle de águas pluviais pode incentivar inicialmente a implantação desta tecnologia de controle da drenagem para projetos de novos condomínios e programas de arrendamentos residenciais, para que estes sirvam de exemplo e que estimulem a reformulação de edificações antigas. Algum incentivo quanto a esta reformulação pode ser pesquisado, principalmente para aqueles que causem grandes impactos, no sentido de isentar ou premiar melhorias no controle da drenagem, contanto que a remediação local seja mais viável que o controle exercido por outros meios. Por exemplo, iniciativas australianas de WSUD premiam projetos que façam uso mais próximo do ambientalmente sustentável (Water Sensitive Urban Design, 2004).

Segundo United States (2004), numerosas municipalidades americanas têm incorporado técnicas de LID em seus programas de proteção de recursos urbanos. Existência de Congressos exclusivos à área (Puget Sound Water Quality Action Team, 2001), e a incorporação destas práticas pelo Departamento de Defesa americano (United States, 2004) evidenciam o crescimento e a robustez desta filosofia de controle de escoamentos pluviais.

## **Recursos Humanos**

Estimativas da quantidade de fezes de cachorro diretamente lançadas no corpo hídrico, em Sidney, atingem volume anual de 10 piscinas olímpicas. A maior quantidade de embalagens presentes nos condutos de esgoto pluvial se concentra em áreas comerciais. 75% dos poluentes pesados de galhos e folhagens atingem e entopem condutos, mostrando que embora sejam naturais, os encanamentos não estão preparados para os receber. Estes dados tornam clara a necessidade de melhor considerar a educação ambiental (Australia, 2002).

Cidadãos desempenham função chave na redução de impactos de águas pluviais tanto em suas atividades diárias quanto participando de programas e apoiando regulamentações municipais. Estudos sugerem (Natural Resources Defense Council, 2004b) que a eficiência do controle esteja associada à eficiência do programa de capacitação pública.

Capacitação técnica dos profissionais (qualificação e atualização de decisores e engenheiros) e das entidades de financiamento nacional e internacional (Tucci, 2003), preparação dos proprietários para manter suas edificações, além de prevenção e diminuição dos poluentes lançados são algumas das metas que um programa eficiente poderia objetivar.

Programas educacionais encorajam os cidadãos a modificar hábitos em atividades rotineiras (Prince George's County, 1999a), *e.g.*, práticas de paisagismo (adoção de fertilizantes e pesticidas naturais, bem como de plantas nativas), atividades de construção (cuidados quanto à produção e transporte de sedimentos),

manutenção de carros (lavagem e lançamento de efluentes) e áreas impermeáveis (remoção de lixo, lavagem de ruas e despejo de efluentes de postos de combustível), cuidados com animais (remoção de dejetos animais).

### **3 MECANISMOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE**

#### **NA REALIDADE BRASILEIRA**

As diferenças no corpo institucional e no padrão construtivo entre o local de origem de LID e a realidade brasileira suscitaram a realização de análises quanto ao controle atual de águas pluviais para novos empreendimentos no Brasil, a revisão das dificuldades enfrentadas para a implantação destas práticas em localidades onde esta é realidade (Estados Unidos), bem como análises quanto às alterações essenciais para a implantação destas estratégias na realidade nacional. Neste capítulo, obtém-se como produto um potencial mecanismo legislativo para o controle sustentável da drenagem urbana em novos empreendimentos.

#### **3.1 CENÁRIO ATUAL**

A cidade de Porto Alegre serve como base para avaliação das possíveis dificuldades a ser enfrentadas para a difusão e emprego destas práticas no país, sendo esta localidade selecionada em virtude da facilidade de obtenção de dados, não

desprezando as particularidades de cada região quanto ao controle da drenagem urbana. Neste item, são elucidados os mecanismos de legislação e gestão para esta localidade, comparando a situação em que esta se encontra ao observado como prática sustentável (item 2.2) e não quanto aos mecanismos institucionais de outras municipalidades brasileiras.

### **3.1.1 Legislação**

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA) da cidade de Porto Alegre (Porto Alegre, 1999) destaca nos seus princípios básicos a promoção da qualidade de vida e do ambiente, além da redução das desigualdades e da exclusão social, incorporando a visão da sustentabilidade ambiental. Dentre os setores regulamentados pelo plano, inserem-se o uso do solo e a drenagem urbana, por intermédio do Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) (Porto Alegre, 2000), os quais possuem incidência sobre o controle do escoamento em novos empreendimentos.

#### **Quanto ao Uso do Solo**

Segundo Tucci (2004), o município controla apenas a cidade formal (áreas de médio e alto valor econômico) por intermédio do controle do espaço urbano (Planejamento Urbano), considerando somente o sombreamento das edificações e o tráfego. Esta afirmação configura o zoneamento típico das cidades brasileiras (ver QUADRO 12), não avaliando o impacto da infra-estrutura de água para a população nem para o ambiente.

### **Quanto à Drenagem Urbana**

Para novas edificações, existem dois artigos no PDDUA especificando como deve ser realizado o controle de águas pluviais. O controle vigente (Cruz, 2004b), segue o artigo 135, parágrafo 6, deste Plano, estabelecendo que áreas parceladas para construção (loteamentos) devem, na saída destas, manter as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento (Porto Alegre, 1999). No momento, apenas o controle do pico de vazão é exigido (Cruz, 2004b) para um evento de Tempo de Retorno de 10 anos, de acordo com Porto Alegre (1996) e Porto Alegre (2000). O artigo 97 do PDDUA estabelece (Porto Alegre, 1999) que nas zonas identificadas como problemáticas, devem ser construídos reservatórios de retenção pluvial.

A regulamentação proposta em Porto Alegre (2000) se baseia na padronização de elementos básicos que são:

- ✓ Vazão máxima de saída a ser mantida em todos os desenvolvimentos urbanos (20,8 l/s/ha);
- ✓ Volume de retenção para a manutenção da vazão máxima;

Esta mesma proposta preconiza o controle do volume gerado por impermeabilizações posteriores à aprovação da obra por parte do DEP. O Manual de Drenagem Urbana, presente no PDDrU (Porto Alegre, 2000) orienta os projetos para consecução dos critérios exigidos. Não há ainda previsão de realização de uma possível atualização do PDDrU (Cruz, 2004b).

### 3.1.2 Gestão

Em Porto Alegre, como em poucos municípios brasileiros, existe um departamento da prefeitura específico para aprovação dos projetos de drenagem urbana do município (Departamento de Esgotos Pluviais - DEP). Procura-se dentro deste fazer com que profissionais de diferentes áreas trabalhem conjuntamente (Cruz, 2004b) na tentativa de providenciar uma visão mais crítica de todos os aspectos que envolvem esta área do conhecimento.

Segundo Pômpeo (1999) e Tucci (2004), a fragmentação excessiva das ações entre os diferentes atores da gestão municipal, *i.e.*, zoneamento urbano, uso do solo, esgoto sanitário, esgoto pluvial, resíduos sólidos, sistema viário, entre outros, emerge como fragilidade da ação do poder público. Mesmo com esta fragmentação, há ausência de controle de erosão e de assoreamento nos municípios brasileiros, *e.g.*, Porto Alegre (Cruz, 2004b), não existindo estrutura institucional, muito menos um plano ou política consistente e coordenado para fazer face a esta questão. Esta fragmentação leva, muitas vezes, à falta de coordenação, resultando em conflitos de poder, inconsistências e incoerências de medidas adotadas, superposição de intervenções, entre outros problemas. Segundo Cruz (2004b), não existe uma prática de consultas do DEP com outras secretarias e departamentos para avaliação de projetos, sendo o controle de águas pluviais o único foco. O DEP não tem representante (Porto Alegre, 2003) no Conselho Municipal de Desenvolvimento Urbano Ambiental (CMDUA), órgão de integração do Sistema Municipal de Gestão do Planejamento.

A deficiência na gestão da drenagem se explica pela estrutura administrativa, a qual assume características muito diferenciadas, quer em sua posição no organograma do poder executivo municipal, quer em recursos financeiros alocados, outros materiais e recursos humanos. A gestão dos sistemas de drenagem sofre por seguir a reboque de outras políticas municipais e/ou por ter seu orçamento condicionado por imperativos políticos da gestão cotidiana das contas municipais, fatores que dificultam, quando não impedem, o planejamento e as ações gerenciais (Baptista e Nascimento, 2002). Tucci (2003) justifica que a percepção e/ou alteração da forma de gerenciar a drenagem urbana não foi realizada, nos países em desenvolvimento, devido aos seguintes fatores:

- a) Falta de conhecimento técnico atualizado dos decisores e engenheiros;
- b) Falta de interesse em soluções mais econômicas por parte dos empreiteiros devido ao ganhos econômicos;
- c) As entidades de financiamento nacional e internacional nem sempre estão atualizadas.

### **Financiamento**

Os recursos financeiros correspondentes a investimentos para o controle da drenagem urbana se originam, principalmente, dos orçamentos municipais, sendo eventualmente complementados, sob demanda específica, por financiamentos pontuais dos governos federal ou estadual ou ainda por empréstimos de bancos ou organismos de desenvolvimento, nacionais e internacionais. No que diz respeito à



manutenção e à gestão dos sistemas, os recursos decorrem (Cruz, 2004b) dos orçamentos municipais, e de parte da arrecadação com taxa de esgoto.

### **Manutenção**

Em Porto Alegre (Cruz, 2004b), o orçamento de manutenção do sistema é determinado anualmente a partir das necessidades verificadas e do montante disponibilizado ao departamento.

Em geral, o trabalho de manutenção do sistema é realizado na forma de remediação ou ação sobre fatos ocorridos. Existem poucos trabalhos de prevenção, apenas limpezas de bocas-de-lobo e redes em regiões críticas antes de períodos conhecidos de fortes precipitações.

Para novos loteamentos, o DEP fica responsável pela manutenção após liberação pela fiscalização para utilização da área. Para esta atividade, a cidade se encontra subdividida em 4 zonas para conservação. Em cada uma destas, o município providencia 1 engenheiro, 1 capataz e 1 equipe de funcionários, sendo as demais atividades terceirizadas.

### **Fiscalização e Aprovação de Projetos**

É no Habite-se que se cobra a certificação de lisura quanto à conexão de esgotos pluviais, além da conformidade com os critérios estabelecidos pela legislação ligada ao controle de águas pluviais.

Para liberação dos loteamentos, um rol de materiais empregados para controle da drenagem urbana deve ser providenciado, sendo estes compatíveis com a lista de materiais normalmente utilizados pelo DEP para manutenção (Cruz, 2004b).

Quando o controle de águas pluviais se apresenta muito oneroso frente aos gastos para construção de toda a obra, caminhos alternativos, *e.g.*, utilização de trincheiras de infiltração, desconexão de áreas impermeáveis e uso de vegetação, são propostos por gestores municipais e liberados, desde que estejam de acordo com as normas e diretrizes do DEP.

A partir do começo da obra, o fiscal do DEP acompanha a mesma por visitas. Devido à reduzida atualização dos profissionais, os fiscais, quando necessário, solicitam a presença de responsável pelo setor de projetos da Divisão de Obras e Projetos (DOP) do DEP, para acompanhamento da construção de bacias de retenção em alguns casos. A eficácia destes dispositivos pode ser comprometida quando fiscais (sem atualização para a atividade) precisam tomar decisões no campo e erram. Acrescente-se a isso o fato do controle por retenções do escoamento se constituir de um conceito relativamente novo e com pouca divulgação em Porto Alegre (outras grandes cidades do país não utilizam nem este tipo de controle), o que justifica as dificuldades acima listadas.

### **Avaliação da efetividade das medidas de controle**

Existe uma grande carência de dados medidos, sejam pluviográficos ou linigráficos. Segundo Cruz (2004b), o DEP tem consciência da necessidade de promover um monitoramento nos sistemas de drenagem implantados, principalmente

no que diz respeito às bacias de amortecimento das vazões pluviais, no entanto, esbarra na escassez de recursos. No momento, apenas dois pluviógrafos têm seus dados coletados (Cruz, 2004b), um por quatorze anos (Cavallada) e o outro desde o último ano (2004, Centro). Com base neste relato, muito ainda há de ser desenvolvido para o monitoramento eficaz das características inerentes ao escoamento pluvial.

Para novos empreendimentos, a realização do controle de escoamento na saída de cada lote é efetuada pela fiscalização da ligação pluvial do imóvel ao sistema público, certificando que esta permite a passagem apenas da vazão máxima liberada pelo DEP.

### **Ciência e Tecnologia**

Em Porto Alegre, não há uma política local para o desenvolvimento de ciência e tecnologia na área de Recursos Hídricos, sendo vigente a política existente para o país. Até a criação (Brasil, 2000 *apud* Tucci e Cordeiro Netto, 2004) e regulamentação (Brasil, 2001 *apud* Tucci e Cordeiro Netto, 2004) do Fundo de Recursos Hídricos (CTHidro), o desenvolvimento desta área seguia interesses pontuais de pesquisadores, principalmente de centros de pós-graduação. Estes interesses nem sempre tinham componentes disciplinarmente integradores e voltados para problemas críticos da sociedade (Tucci e Cordeiro Netto, 2004).

Com a criação do CT-Hidro, espera-se um estímulo maior ao desenvolvimento de pesquisas quanto à sustentabilidade da drenagem urbana, por este buscar (Tucci e Cordeiro Netto, 2004):

- ✓ Criar uma base de investimento permanente no qual a pesquisa tenha sustentabilidade para se desenvolver;
- ✓ Desenvolver o foco de pesquisa para problemas de sociedade, convidando pesquisadores a buscar solução para os mesmos;
- ✓ Concentrar esforços para a busca de inovação em ciência e tecnologia que alavanque o desenvolvimento social e econômico e garanta a sustentabilidade ambiental.

Algumas pesquisas de cunho numérico e/ou experimental foram desenvolvidas nos últimos anos, principalmente, para avaliação de desempenho de dispositivos para condições climáticas, geológicas e topográficas regionais, em especial, por centros de pós-graduação. A realização de simpósios e a elaboração de livros ligados à área têm contribuído para o avanço no conhecimento da questão. Desconhece-se, no entanto, a realização de estudos quanto à aplicação de estratégias de LID no país, demonstrando que um esforço maior para o conhecimento de práticas sustentáveis deve ser realizado.

### **Recursos Humanos**

Um grande avanço necessita ser alcançado quanto à capacitação técnica dos profissionais envolvidos em áreas relacionadas à drenagem urbana. Aumento da quantidade, qualificação e atualização dos profissionais, além de adequação de equipamentos se fazem urgentes, sendo reforços educacionais a todas as classes envolvidas, população e profissionais, a saída para alteração do quadro apresentado

por grande parte, senão a totalidade dos estados brasileiros. Conforme relato de Cruz (2004b) quanto à gestão em Porto Alegre, quando é diagnosticada a necessidade de atualização profissional, o DEP juntamente com entidades, *e.g.*, o CREA, passa a promover cursos, financiando por intermédio do município, se necessário. Para os cursos promovidos pela UFRGS, existe desde longa data, um convênio entre município e Universidade.

Cruz (2004b) relata a experiência organizada por associação de moradores, a qual reuniu entidades relacionadas a esta área (DEP, SMOV, SINDUSCON, CREA e IPH) para expor e discutir o controle de águas pluviais, aproximando profissionais, município e população, tendo como resultado o interesse de construtores na utilização de técnicas alternativas visando maior poder de mercado.

As atividades realizadas pelo DEP para educação da população se restringem a programas de prevenção à poluição, pelos programas “Boca-de-lobo limpa” e “Arroio não é valão” (Porto Alegre, 2005), na forma de palestras em escolas, com pouco apoio por parte do poder público, realidade ínfima comparada à proposta por Prince George’s County (1999a).

### **3.2 EXPERIÊNCIA AMERICANA**

Segundo Hinman (2001), três áreas foram identificadas como barreiras para adoção de LID na realidade americana.

- ✓ Barreiras regulamentárias;

- ✓ Barreiras gerenciais;
- ✓ Falta de projetos demonstrando estratégias de LID.

Para superar estas barreiras, esforços são correntemente direcionados a três objetivos:

- ✓ Adotar um modelo de regulamentação e incorporar um capítulo ao Manual de controle de águas pluviais local;
- ✓ Desenvolver um manual de LID que seja aplicável à região em estudo, direcionado a guiar planejadores, engenheiros, arquitetos paisagistas, empreendedores e construtores;
- ✓ Projetar e implementar LID para demonstrar planejamento do local, práticas de gestão de águas pluviais, desempenho hidrológico, custos e benefícios, bem como, poder de mercado.

### **3.2.1 Barreiras Regulamentárias**

Boa quantidade de barreiras regulamentárias retarda a implementação de LID. Padrões correntes para largura de ruas, densidades, requerimentos de gestão de águas pluviais e especificações de paisagismo podem promover a perda de vegetação nativa e de solos, assim como, contribuir para superfícies impermeáveis desnecessárias. Algumas jurisdições locais possuem mecanismos para variar padrões de desenvolvimento. Para jurisdições que não possuem opções para mudar códigos, uma regulamentação modelo é necessária para permitir LID. Regulamentações

modelo podem requerer estratégias de LID em certas áreas ou simplesmente permitir o projeto e revisão destas pela jurisdição. Para jurisdições com mecanismos que permitem alterações a padrões, uma regulamentação modelo pode não ser necessária; sendo, de qualquer forma, benéfica. Claramente, as maiores barreiras para implementação de LID são conscientização e aceitação de novas práticas, bem como a habilidade de jurisdições locais em revisar e aprovar projetos de LID. O procedimento de escrever uma regulamentação modelo pode providenciar os passos iniciais para educação e desenvolvimento da capacidade institucional (*i.e.*, base de conhecimento, recursos humanos e estrutura organizacional) para revisar e implementar projetos de LID.

### **3.2.2 Barreiras Gerenciais**

Frente à diferença de abordagem para o controle de águas pluviais, LID utiliza planejamento e controle de técnicas que requerem capacitação dos recursos humanos. LID requer avaliação detalhada da cobertura do solo local (*e.g.*, áreas impermeáveis totais e efetivas, áreas permeáveis, bio-retenção, e solos nativos e restaurados) para entender a movimentação de águas pluviais. Em contraste, procedimentos americanos de avaliação tradicionais utilizam cobertura superficial média ou típica e dados de desempenho hidrológico destes usos de solo. Procedimentos novos e mais detalhados de modelagem são necessários para adequadamente avaliar o desempenho de superfícies permeáveis, solos restaurados e áreas de bio-retenção. Treinamento é requerido para familiarizar com as novas tecnologias e a aplicação apropriada. Como resultado, barreiras gerenciais, *i.e.*,

entendimento técnico e habilidade para revisar e aprovar projetos, podem desencorajar a integração de práticas de LID.

O procedimento de escrever as legislações e o manual serve ao propósito de construir a habilidade dos recursos humanos locais para revisar e implementar projetos de LID. Quatro esforços educacionais de construção de capacitação, associados com o desenvolvimento de manuais, foram implementados no condado de Pierce (Hinman, 2001):

- ✓ Workshops técnicos foram conduzidos para introduzir praticantes aos princípios de LID;
- ✓ Um comitê estruturado por três partes ligadas foi organizado para pesquisar e escrever a regulamentação modelo e o capítulo do manual de águas pluviais: um comitê-núcleo, visando captar a essência da pesquisa e tarefas de escrita; um comitê de apoio técnico, composto de operações de gestão para revisar produtos do comitê-núcleo e; um grupo de revisão nacional para aumentar a experiência. Os comitês-núcleo e de apoio técnico foram utilizados para discutir novos conceitos de LID e extrair possíveis problemas com aplicação de estratégias de LID no contexto do código do condado de Pierce. Esta informação foi utilizada para focalizar a pesquisa e recomendações do comitê-núcleo nas estratégias de LID. Como resultado, diretores de operação do condado estão conscientes de estratégias básicas de LID, e os estágios iniciais de



desenvolvimento de uma equipe de revisão para implementar projetos estão em prática.

- ✓ O esboço de um novo capítulo de LID tem requerido a definição de metas e a identificação de estratégias aplicáveis de planejamento, práticas, procedimentos de modelagem e limitações no conhecimento corrente. Com o novo capítulo de LID, os recursos humanos do condado de Pierce terão a estrutura básica conceitual (*i.e.*, planejamento local e procedimentos de modelagem), bem como descrições de práticas aplicáveis para revisão de projeto.
- ✓ Avaliação recente de bacia e procedimentos de planejamento têm providenciado uma imagem mais completa de zonas de recursos sensíveis. Ao mesmo tempo, estratégias de LID têm sido introduzidas ao planejamento de comunidades locais por intermédio de gestores do condado. Como resultado, alguns planos de comunidade têm adotado LID como estratégias em zonas de recursos sensíveis para proteger recursos aquáticos.

### **3.2.3 Ausência de Projetos Demonstrativos de LID**

Implementação de projetos-piloto bem concebidos para demonstrar os benefícios hidrológicos e monitorar o desempenho de aplicações é a fase mais importante de promoção regional de LID. Providenciar códigos e regulamentações de permissão de LID pode ser necessário, de qualquer forma, somente estes passos não são adequados. Obstáculos adicionais existem para implementação de LID, incluindo

barreiras gerenciais resumidamente descritas acima, risco associado com implantação de novas práticas em empreendimentos e aceitação de mercado.

Segundo Hinman (2001), a fase de demonstração de projeto pode ser implementada por dois caminhos. Primeiro, organizar uma equipe de desenvolvimento consistindo de membros do poder público, pesquisadores e comunidade empreendedora para projetar utilizando propriedade pública. O segundo caminho consiste em desenvolver uma parceria entre empreendedores, engenheiros, arquitetos paisagistas, contratantes, operadores locais e proprietários para projetar e desenvolver um projeto de LID em terra privada. Ambos os cenários requerem gestão ativa para planejamento e implementações do projeto, em vez de uma abordagem passiva que se baseie em iniciativa de empreendedor ou construtor.

Atrair um empreendedor para construir um projeto demonstrativo requer incentivos. Pelo menos quatro estratégias podem ser utilizadas (Hinman, 2001):

- ✓ Reunir uma equipe local dedicada para assegurar revisão periódica e aprovação de projetos.
- ✓ Isentar parte ou todas as taxas de desenvolvimento para empreendedores desejando arriscar explorar novas estratégias de desenvolvimento.
- ✓ Reduzir ou eliminar taxas de gestão de águas pluviais, para locais onde existam, e possibilitar providenciar créditos de águas pluviais para consecução de metas de desempenho de LID.

- ✓ Reduzir o risco na aplicação de novos padrões de projeto por intermédio de disseminação de responsabilidade para desempenho de projeto entre empreendedor, município e outros interessados no projeto. Enquanto LID configura metas de desempenho mais audaciosas que os padrões existentes, aplicar qualquer nova estratégia de gestão envolve risco para obedecer à regulamentação vigente. Como incentivo para empreendedores considerando projetos de LID, o município pode necessitar aceitar a responsabilidade de desenvolver planos de contingência que providenciem espaço adequado e especificações de projeto para um sistema convencional alternativo que assegure a gestão de águas pluviais.

### **3.3 POTENCIAIS MECANISMOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE**

A exposição dos mecanismos institucionais para a implantação de práticas sustentáveis (item 2.2) e do cenário atual dos mecanismos institucionais brasileiros (item 3.1) incita a realização de alterações no quadro nacional para a consecução do objetivo de praticar drenagem urbana sustentável para novos empreendimentos, com base na experiência americana para implantação destas (item 3.2). Algumas destas possíveis modificações são sumarizadas num potencial cronograma de atividades (QUADRO 14) as quais serão discutidas ao longo deste item.

QUADRO 14: POTENCIAL CRONOGRAMA PARA IMPLEMENTAÇÃO DA  
SUSTENTABILIDADE

Área	Descrição	2006		2007		2008	
		01	02	01	02	01	02
Legislação	Lei Complementar						
	Decreto						
	Ampliação do CMDUA						
	Uso do Solo "Ambiental"						
	Manual de LID						
	Penalidade						
Gestão	Atividade	Desenvolvimento de Projetos-Piloto					
		Programa de Monitoramento					
	Estrutura	Montagem de Equipe: Fiscalização e Avaliação de Efetividade de Medidas					
		Montagem de Equipe: Revisão de Projetos					
		Montagem de Equipe: Capacitação e Revisão da Legislação e Manuais					
Gestão	Ciência e Tecnologia	Estudos Experimentais					
		Penalidade a geradores de impactos negativos					
		Avaliação de efetividade de medidas					
		Uso do Solo "Ambiental"					
		Manual de LID					
	Recursos Humanos	Programa de Educação Pública					
		Programa de Capacitação Profissional					

### 3.3.1 Legislação

Como a estrutura de regulamentação da drenagem urbana para Porto Alegre se encontra auxiliada pelo Manual de Drenagem, que orienta o dimensionamento dos dispositivos de controle, não são necessárias alterações maiores que a inclusão de um capítulo de LID a este, ou o desenvolvimento de um Manual de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, além da atualização da legislação, para que se apresente como a proposta no item 3.4.

### **Quanto ao Uso do Solo**

A observação restrita ao sombreamento de edificações e ao tráfego pelo Planejamento Urbano sugere a revisão e provável reformulação de sua concepção, acreditando-se que o emprego de medidas de caráter integrador seja mais coerente com o objetivo de promover qualidade de vida e do ambiente, bem como, reduzir desigualdades e exclusão social, proposta do PDDUA (Porto Alegre, 1999). Portanto, a preocupação quanto a questões ligadas ao controle de águas pluviais deve ser evidenciada na regulamentação de uso do solo, como a proposta no QUADRO 13.

### **Quanto à Drenagem Urbana**

Para a alteração no controle da drenagem proposta pelo PDDUA (Porto Alegre, 1999), a resposta dos atores envolvidos no controle da drenagem foi a seguinte (Cruz, 2004b):

- ✓ Construtores – Em geral, assimilaram bem a necessidade de executar controles, devido aos benefícios que estes providenciam e ao poder de mercado que seus empreendimentos podem atingir. O apelo à conservação ambiental possivelmente contribuiu para este consentimento da necessidade de controle. Poucos construtores foram contra.
  
- ✓ População – Falta ainda conscientização da necessidade de implantação e compreensão quanto ao funcionamento das bacias de retenção.

- ✓ Município – Frente às inundações recorrentes, a necessidade de alteração da forma de lidar com as águas pluviais já era vista como urgente, sendo, portanto, bem aceita pelo DEP. Para outras secretarias (Secretaria Municipal do Meio Ambiente - SMAM) e departamentos (Departamento Municipal de Águas e Esgotos - DMAE), nem tanto.

Partindo destas respostas, a entrada em vigência de regulamentações que tornem facultativo o uso de LID não deve apresentar grandes complicações, atraindo empresas com visão inovadora e de futuro, preocupadas pelo poder de mercado que a questão ambiental pode fornecer, aliado às possíveis vantagens financeiras decorrentes da implantação destas estratégias. No entanto, providenciar regulamentação de permissão não parece ser o caminho adequado para promover projetos e devem, em adição, requerer gestão ativa pela jurisdição local, empreendedores do setor privado, e acadêmicos para identificar a localização, financiamento, dimensionamento e estratégias de monitoramento de projeto. Recai-se, ainda, no risco de não ter este tipo de controle nos maiores empreendimentos, como acontece no condado de Island (Puget Sound Action Team, 2003).

O emprego de regulamentação com caráter obrigatório há de proporcionar, possivelmente, alguma contrariedade quanto à sua implantação, em virtude da inovação na concepção de sistemas de drenagem que esta preconiza. Este tipo de regulamentação deve apresentar, provavelmente, melhores respostas por assegurar que uma parcela maior de empreendimentos vai estar controlando de forma mais sustentável o escoamento pluvial.

A elaboração de caminhos para estimular o emprego destas técnicas se encontra facilitada pelo PDDUA (Porto Alegre, 1999), o qual prescreve o controle das condições hidrológicas naturais para parcelamentos de uso do solo. Necessita-se, no entanto, que o controle para outros critérios, além da vazão de pico (20,8 l/s/ha), sejam exigidos, em detrimento à prática convencional, assim como, a concessão de maior flexibilidade nas possíveis formas de controle seja realizada e controle para qualquer tipo de desenvolvimento. As legislações propostas nesse trabalho (item 3.4) se prestam a este objetivo. Ficam pendentes as proposições de legislação de cunho ambiental para o uso do solo, que apresente um Manual que oriente o dimensionamento e implantação de práticas de LID, que implante mecanismos para penalizar os responsáveis pela alteração do regime hidrológico, *e.g.*, cobrança, como também, para inserir um representante do DEP no CMDUA.

O procedimento de integração e implementação de LID possivelmente providenciará lições práticas para outras jurisdições tentando adotar práticas de desenvolvimento alternativo.

### **3.3.2 Gestão**

A inserção de um membro do DEP no CMDUA surge como oportunidade interessante, contribuindo para uma possível análise mais integral na formulação de políticas, planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano.

A criação de um corpo técnico incumbido de avaliar a efetividade de medidas e fiscalizar projetos, atualizar e revisar a legislação surge como alternativa

interessante, particularmente em municípios razoavelmente desenvolvidos, em que inexistia um setor encarregado do controle da drenagem urbana.

### **Financiamento**

A inserção de uma tarifa para onerar os responsáveis pela alteração do regime hidrológico, como existe em Santo André, contribuiria para o incentivo ao financiamento por bancos a obras para controle de águas pluviais ao garantir a amortização dos empréstimos. Do ponto de vista jurídico, a implementação da taxa implicará em importantes ajustes legais. A adoção da taxa se encontra respaldada na lei 9.433 (Brasil, 1997), especificamente nos artigos 12 e 20, uma vez que se considere a necessidade de outorgas para águas pluviais e sua sujeição à cobrança. Os fundos decorrentes da cobrança poderiam auferir certa autonomia, possibilitando subsidiar a manutenção do corpo técnico proposto, bem como outros custos, não permanecendo estes dependentes exclusivos da monta repassada pelo poder público.

### **Fiscalização e Aprovação de Projetos**

Sugere-se o conhecimento das condições de desenvolvimento de todo o município, baseado em PDDUA atualizado, incluindo identificação de áreas protegidas (várzeas, banhados, área florestal), características topográficas, geológicas, para minimizar ou até suprimir danos ao ambiente por possível tentativa de infração às normas. Este conhecimento serviria de subsídio à avaliação do projeto submetido ao órgão responsável quanto ao cumprimento das exigências de controle de águas pluviais.



### **Avaliação da efetividade das medidas de controle**

Dentre os potenciais mecanismos de avaliação da efetividade das medidas de controle, o desenvolvimento de um programa de monitoramento deve ser objetivado, com a finalidade de disponibilizar informações para a gestão do desenvolvimento urbano. Basear a gestão apenas no emprego de modelos deve ser evitado, sendo aproveitados os resultados das campanhas de monitoramento tanto para subsidiar a tomada de decisão, como para ajustar modelos a ser empregados com menor erro, quando não for possível ser realizado o monitoramento. Outra atividade interessante diz respeito à elaboração de pesquisas para determinação da aceitação das medidas pelo público.

O corpo técnico-institucional deve estar apto a realizar estas campanhas, sendo positiva a construção de um grupo responsável por avaliar o comportamento da bacia e direcionar os esforços para solução dos problemas desta.

### **Ciência e Tecnologia**

Espera-se que este trabalho sirva de gatilho para o desenvolvimento de pesquisas no país quanto ao potencial de controle de LID, bem como, para reavaliações das legislações e manuais empregados, visando o desenvolvimento sustentável do meio urbano. Caso esta tecnologia venha a mostrar bons resultados para o controle da drenagem, a criação de fóruns de discussão para a troca de experiências agregaria conhecimento e, possivelmente, traria vantagens tanto para a população, como para o ambiente.

A avaliação do comportamento dos dispositivos por estudos experimentais, bem como, a construção de parcerias entre os setores público e privado ou com países desenvolvidos no controle da drenagem para o desenvolvimento de projetos demonstrativos, surgem como práticas interessantes com boa chance de atingir êxito. Sugere-se entrar em contato com o LID Center <[www.lowimpactdevelopment.org](http://www.lowimpactdevelopment.org)> para possível criação de parceria ou para simples orientação nos projetos.

O desenvolvimento deste setor para responder às questões mal solucionadas, como o uso do solo, avaliação de efetividade de medidas, penalidade a geradores de impactos negativos e a atualização do manual de drenagem que incorpore o manual de LID, apresenta-se relevante para o sucesso da gestão da drenagem urbana.

### **Recursos Humanos**

O desenvolvimento de um programa de educação ambiental abrangendo profissionais (engenheiros, arquitetos paisagistas), gestores públicos (município) e população em geral (possíveis proprietários) deve ser enfrentado como necessidade real e prioritária para a obtenção de estratégia de controle de sucesso. A capacitação do corpo técnico responsável pela drenagem urbana, por intermédio de cursos e palestras para difusão das vantagens e compreensão da nova prática, deve auxiliar a amenizar o descontentamento proveniente da necessidade de aprendizado de novas técnicas para o controle de águas pluviais.

Educação e construção da capacidade de organização são necessárias para superar as barreiras gerenciais. Gestores tentando integrar LID à jurisdição local podem utilizar o processo de desenvolvimento de regulamentações modelo e

manuais para educar os recursos humanos da cidade e começar a construir a estrutura organizacional e base de conhecimento para revisar e aprovar projetos de LID. Os benefícios de educação e construção de capacidade também formarão a fundação para providenciar incentivo essencial para implementação de LID: revisão periódica e aprovação de projetos para empreendedores conferindo maior agilidade por parte do poder público.

### **3.4 PROPOSTA DE LEGISLAÇÕES DE DRENAGEM PARA NOVOS EMPREENDIMENTOS**

Mediante a legislação existente em Porto Alegre (Porto Alegre, 2000) para o controle da drenagem, especialmente para novos empreendimentos, ajustes nas normas são justificados, objetivando conceder flexibilidade para o emprego de práticas sustentáveis. Proposições de medidas legais são apresentadas em seguida, sendo uma Lei Complementar para alteração da norma vigente e um decreto para incentivar o emprego destas práticas.

### **Lei Complementar Nº ???**

Altera a redação dos arts. 97 e 163, inciso X da Lei Complementar Nº 434, de 01 de dezembro de 1999 (PDDUA).

**Art. 1.** O art. 97 da Lei Complementar nº 434, de 1999, passa a constar com a seguinte redação:

“Art. 97. Nas zonas identificadas como problemáticas quanto à drenagem urbana, a critério do órgão técnico competente, deverão ser construídos, nos lotes edificados, dispositivos para o controle de águas pluviais.

Parágrafo único. O zoneamento, as dimensões e a vazão dos dispositivos de controle águas pluviais serão definidos por decreto do Poder Executivo.”

**Art. 2.** O inciso X do art. 163 da Lei Complementar nº 434, de 1999, passa a constar com a seguinte redação:

“X - padrões para dimensionamento e vazão dos dispositivos de controle de águas pluviais de que trata o art. 97 desta Lei;”

**Art. 3.** Esta Lei Complementar entra em vigor na data de sua publicação.

**DECRETO N ° ???, DE ??? DE ??? DE 2005**

Regulamenta o controle da drenagem urbana

O Prefeito Municipal de Porto Alegre, usando de suas atribuições legais e tendo em vista os Art. 1 da Lei Complementar ???/05 e Art. 135 § 6o da Lei Complementar 434/99 e considerando que:

- ✓ compete ao poder público prevenir o aumento das inundações devido à impermeabilização do solo e canalização dos arroios naturais;
- ✓ o impacto resultante da impermeabilização produz aumento de frequência de inundações, piora da qualidade da água e aumento do transporte de material sólido, degradando o ambiente urbano;
- ✓ deve ser responsabilidade de cada empreendedor a manutenção das condições prévias de inundação nos arroios da cidade, evitando-se a transferência para o restante da população do ônus da compatibilização da drenagem urbana;
- ✓ a preservação da capacidade de infiltração das bacias urbanas é prioridade para a conservação ambiental dos arroios e rios que compõem a macrodrenagem e dos rios receptores do escoamento da cidade de Porto Alegre.

Declara que:

**Art. 1o** Toda ocupação que resulte em superfície impermeável, deverá manter e/ou restaurar o volume, vazão máxima, frequência, durações e qualidade de águas pluviais naturais de pré-desenvolvimento do local.

§ 1o As condições de pré-desenvolvimento do local para modelagem hidrológica, como vegetação nativa e solo existentes da ocupação do local, deveriam ser uma cobertura de floresta, a menos que informação histórica razoável indique que o local era coberto por outro tipo de vegetação antes da colonização.

§ 2o Serão consideradas áreas impermeáveis todas as superfícies que não permitam a infiltração da água para o subsolo.

§ 3o As características naturais que promovam infiltração de águas pluviais em local desenvolvido devem ser retidas e incorporadas, ou se alteradas, compensadas.

**Art. 2o** A área impermeável efetiva deve ser limitada para não mais que 10%.

Parágrafo Único: Será considerada impermeabilização efetiva a superfície impermeável que não for controlada.

**Art. 3o** Solos nativos e vegetação devem ser retidos ou restaurados em 60% da área. Onde os 60% não forem atingidos, o empreendedor deve demonstrar como o uso combinado de outras técnicas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto atingirá a meta de maximizar a retenção ou restauração de solos nativos e vegetação.

**Art. 4o** Todo parcelamento do solo deverá prever na sua implantação o controle de águas pluviais, limitar a área impermeável efetiva e reter ou restaurar solos nativo e vegetação, como disposto nos arts. 1o, 2o e 3o, respectivamente.

**Art. 5o** A comprovação da manutenção das condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo deve ser apresentada ao DEP (Departamento de Esgoto Pluviais).

§ 1o O controle de águas pluviais deverá ser efetuado seguindo o planejamento hidrológico disposto no Manual de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre, a ser elaborado pelo Poder Executivo.

§ 2o O emprego de bio-retenções, pavimentos permeáveis, dispersão de água por superfícies abertas, restauração do solo, e outros dispositivos dispersos para controlar águas pluviais deve ser realizado o mais próximo da origem possível.

§ 3o O uso de reservatórios de detenção deve ser utilizado apenas quando todas as outras técnicas de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto tenham sido consideradas e utilizadas ao máximo possível.

§ 4o O dimensionamento necessário dos dispositivos deve ser determinado através de estudo hidrológico específico, com precipitação de projeto com probabilidade de ocorrência de 10% em qualquer ano (Tempo de retorno = 10(dez) anos).

§ 5o A aplicação das estruturas listadas no § 2o estará sujeita a autorização do DEP, após a devida avaliação das condições mínimas de infiltração do solo no local de implantação do empreendimento, a serem declaradas e comprovadas pelo interessado.

§ 6o As regras de dimensionamento e construção para as estruturas listadas no § 2o deverão ser obtidas no Manual de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre.

**Art. 6o** Após a aprovação do projeto de drenagem pluvial da edificação ou do parcelamento por parte do DEP, é vedada qualquer impermeabilização adicional de superfície.

Parágrafo Único: A impermeabilização poderá ser realizada se houver retenção do volume adicional gerado de acordo com o Manual de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre.

**Art. 7o** Todos os empreendimentos submetidos ao Departamento de Esgotos Pluviais dois anos após a publicação deste decreto devem obedecer as normas contidas no mesmo.

**Art. 8o** Os casos omissos no presente decreto deverão ser objeto de análise técnica do Departamento de Esgotos Pluviais.

**Art. 9o** Este decreto entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

## **4 ESTUDO DE CASO: IMPLEMENTAÇÃO NUMÉRICA EM UM**

### **CONDOMÍNIO**

As estratégias de LID foram numericamente simuladas em um condomínio residencial hipotético com condições de solo e chuva da cidade de Porto Alegre, objetivando averiguar suas vantagens e desvantagens com relação às práticas vigentes.

#### **4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO**

##### **4.1.1 Tipo de Solo**

Menegat *et al.* (1998) denominam o solo da região sudeste, escolhida arbitrariamente, sobre o qual o condomínio hipoteticamente se sobrepõe como Podzólico vermelho-amarelo, apresentando substrato de sienogranito grosso rosado. Este tipo de solo apresenta características que dentro das classificações possíveis, apresentadas por SCS (1957) *apud* Tucci (2001), se enquadra como solo tipo C



(argilo-arenoso). Segundo Fitch *et al.* (1976) *apud* Tucci (1998), solos tipo C apresentam taxas de infiltração entre 127 mm/h para o período seco e 6,35 mm/h para a capacidade de campo.

#### 4.1.2 Cobertura do Solo

A cobertura natural para a área em estudo se apresenta como mata das encostas dos morros, segundo Menegat *et al.* (1998). Arbitrou-se cobertura do tipo floresta pouco esparsa para representar a vegetação, seguindo SCS (1957) *apud* Tucci (2001).

#### 4.1.3 Cenários

Tendo como objetivo avaliar as vantagens e desvantagens da adoção das estratégias de LID a um condomínio na cidade de Porto Alegre, foram adotados quatro cenários:

- ✓ **Cenário I:** Condição natural.
- ✓ **Cenário II:** Desenvolvimento do condomínio sem qualquer controle.
- ✓ **Cenário III:** Desenvolvimento do condomínio seguindo a regulamentação local para a construção de loteamentos, *i.e.*, o controle do pico de vazões é efetuado para que à saída dos loteamentos sejam obtidas as vazões das condições naturais (pré-desenvolvimento), por intermédio, na maior parte dos casos, de bacias de retenção.

- ✓ **Cenário IV:** Desenvolvimento do condomínio em conformidade com as estratégias de LID, *i.e.*, mitigar impactos na fonte, buscando o controle de pico, volume, duração, frequência e qualidade do escoamento para condições naturais.

#### 4.1.4 Regime de Chuvas

Objetivando comparar o comportamento da área em estudo entre os diferentes cenários faz-se interessante avaliar que evento deve ser utilizado como evento de projeto. Fazendo uso da proposta de avaliar para qual precipitação se inicia o escoamento superficial (Anexo A), resultou que o evento de Tempo de Retorno de 1 ano e duração de 24 horas (41,29 mm), pela curva I-D-F de Porto Alegre, para o posto IPH, foi superior ao obtido (31,13 mm) para um fator de 1,5 como utilizado para Maryland (Nordeste americano). Para que o evento de 1 ano fosse superado seria necessário aplicar um fator superior a 1,98. Tendo em vista que o PDDrU (Porto Alegre, 2000) especifica a utilização do evento com Tempo de Retorno de 10 anos e duração de 1 hora para o controle de escoamento pluvial à saída de loteamentos e que este evento supera o obtido pela metodologia proposta, escolheu-se empregá-lo. O evento foi discretizado para intervalos de 0,01 min para simulação, devido à existência de áreas que apresentam  $T_c$  de 0,014 min (posteriormente justificado no item 4.2.1), sendo este redistribuído no tempo para que o pico acontecesse no meio do intervalo (Figura 41), de acordo com o método dos blocos alternados (Chow *et al.*, 1988).

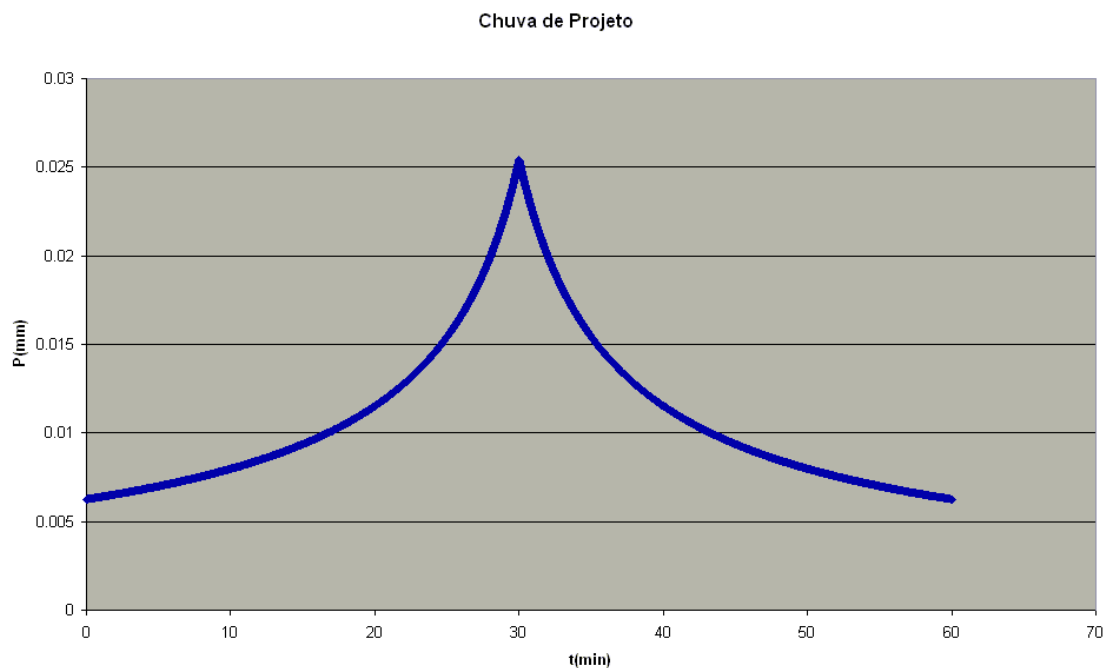


Figura 41: Precipitação de frequência 10 anos e 1 hora de duração para o posto IPH (Porto Alegre)

#### 4.1.5 Disposição do Condomínio

O condomínio hipotético arbitrado procurou seguir a realidade dos condomínios residenciais de alto padrão, como disposto na Figura 42. Buscou-se, para a construção dos cenários II e III, seguir a prática convencional de planejar o controle de águas pluviais após ter sido criado o projeto arquitetônico e o estrutural da edificação, em detrimento à prática de inserção do planejamento do controle de águas pluviais ao longo destes, caminho proposto nas estratégias de LID (cenário IV). Por esta razão, o emprego de dispositivos que necessitassem de alterações nos projetos arquitetônico e estrutural dos lotes (Figura 43, Figura 44, Figura 45 e Figura 46) foi evitado, como o emprego de telhados verdes.

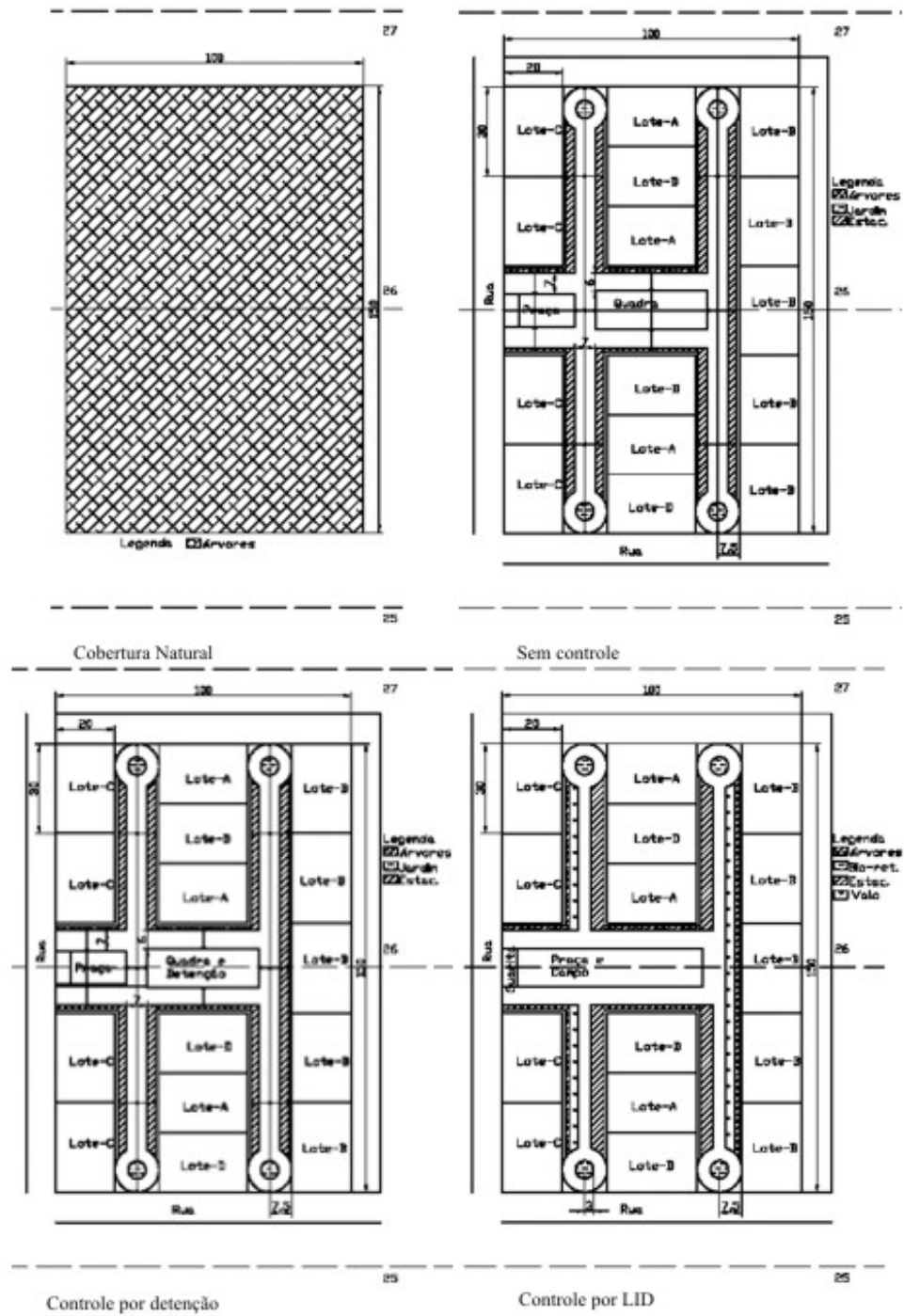


Figura 42: Configuração do condomínio (fora de escala).

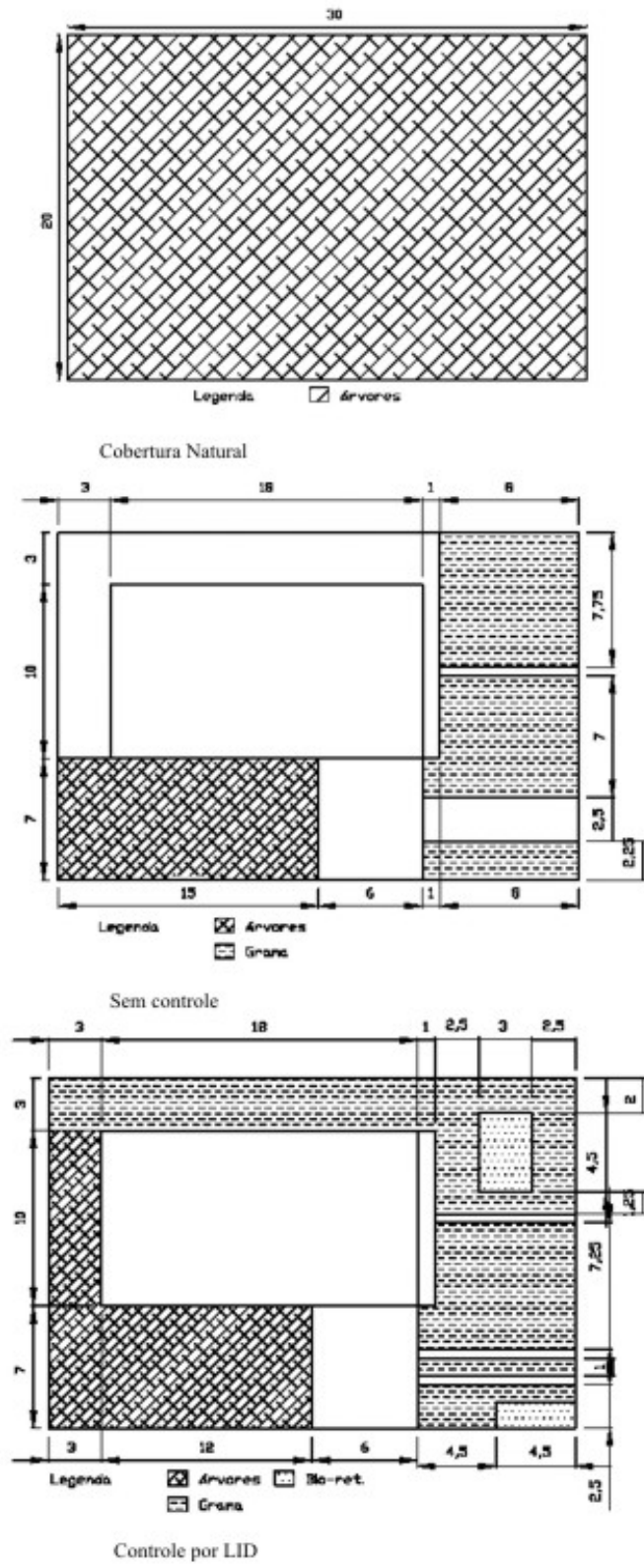
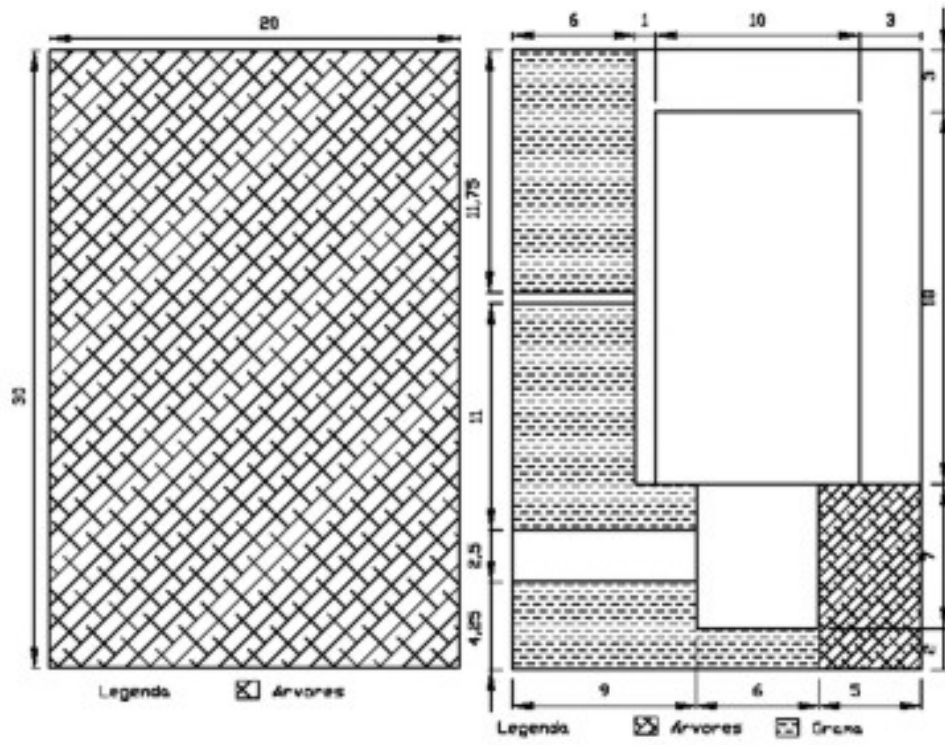
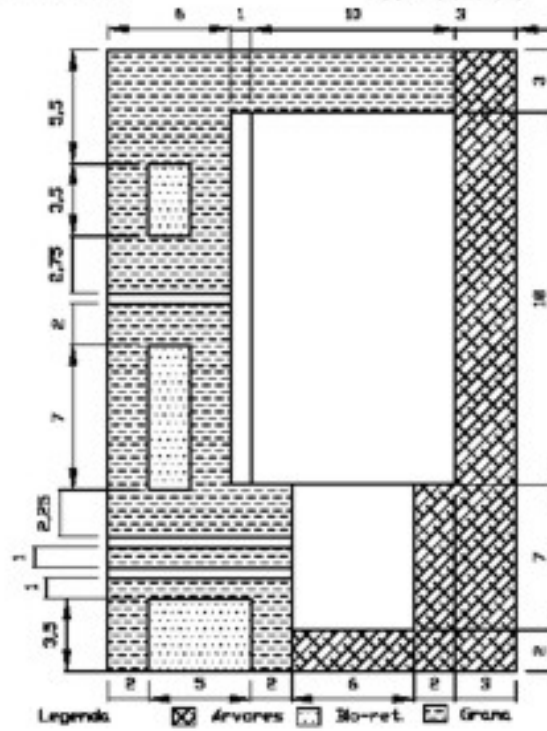


Figura 43: Configuração do Lote-A (fora de escala).



Cobertura Natural

Sem Controle



Controle por LID

Figura 44: Configuração do Lote-B (fora de escala).

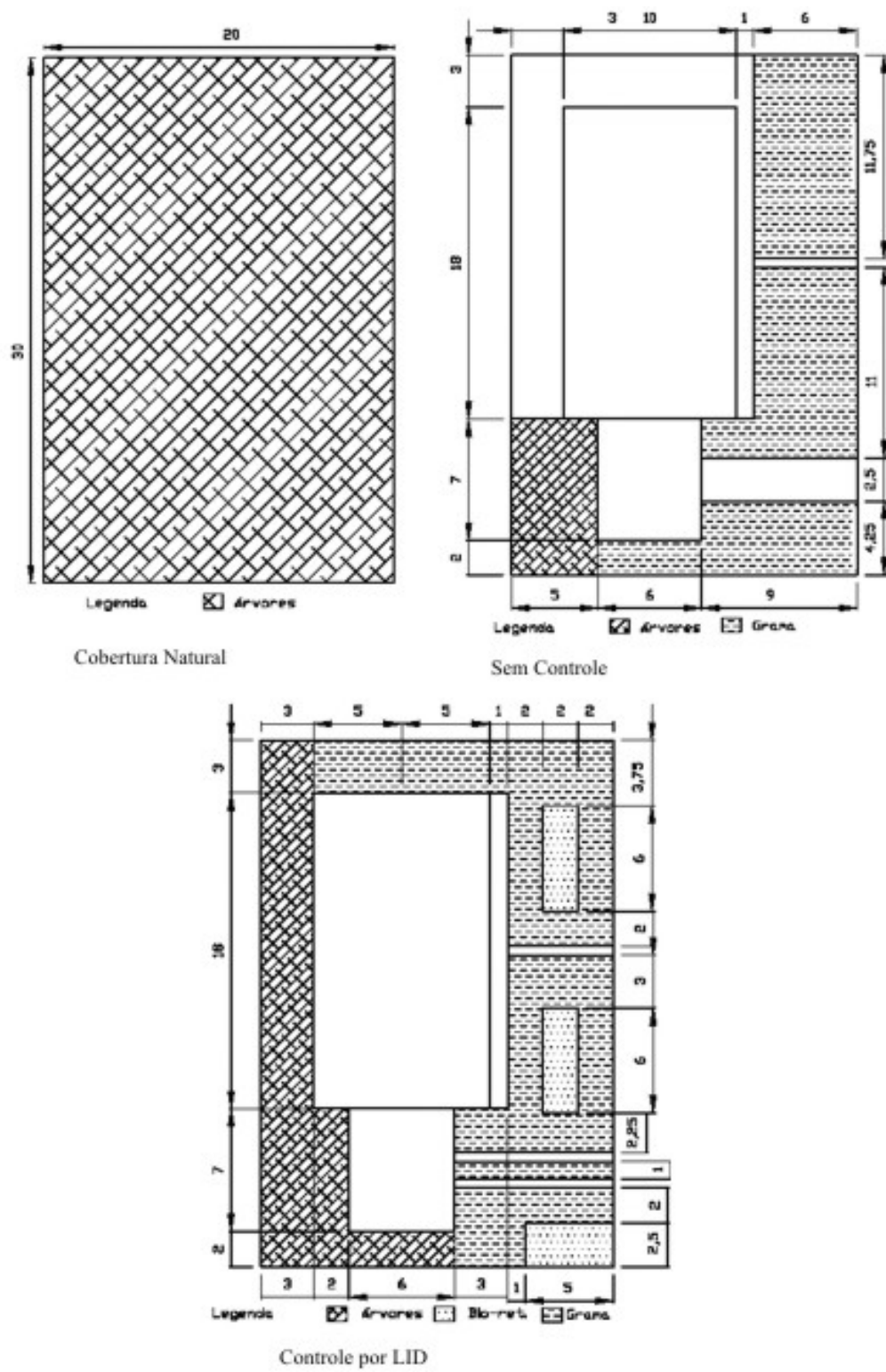


Figura 45: Configuração do Lote-C (fora de escala).

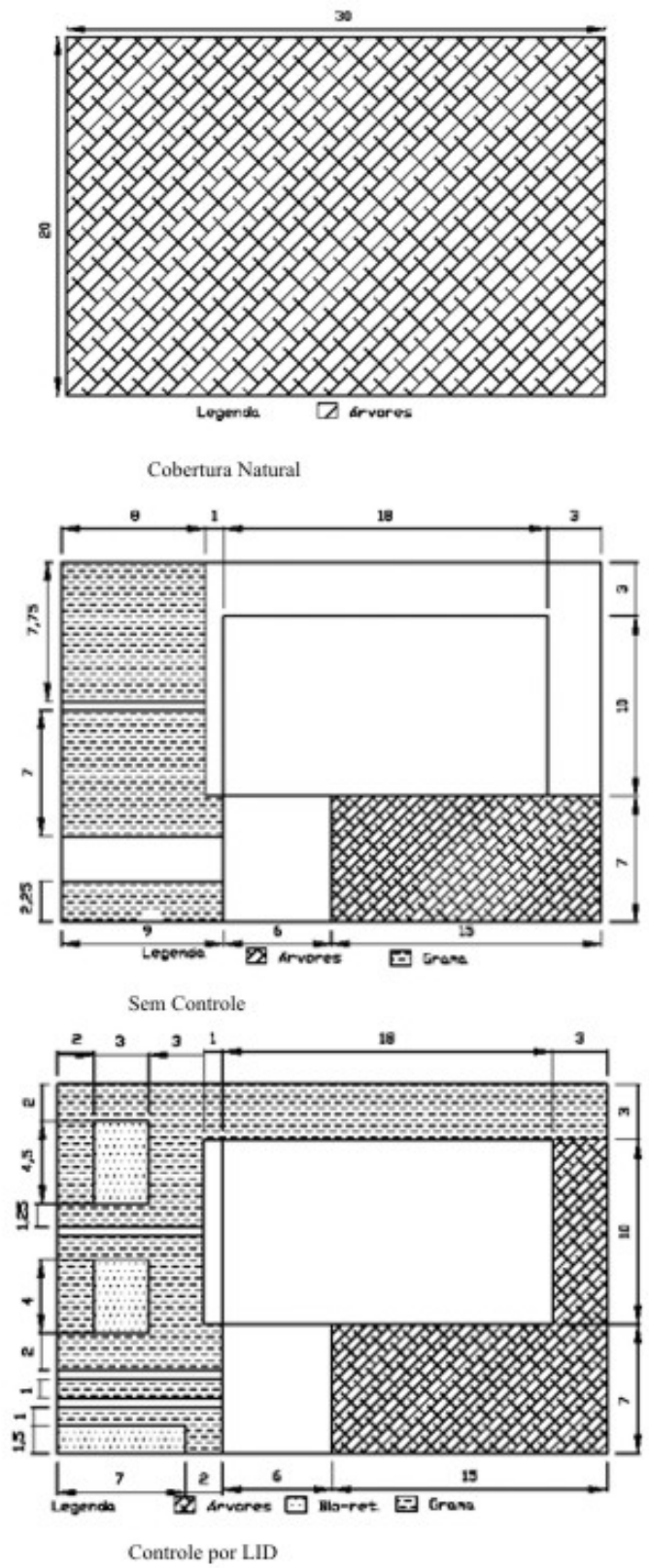


Figura 46: Configuração do Lote-D (fora de escala).



## 4.2 METODOLOGIA

Diante dos cenários preestabelecidos, avaliações hidrológicas, financeiras e quanto à preservação de vegetação natural foram executadas.

### 4.2.1 Avaliação Hidrológica

A avaliação de hidrogramas resultantes de cada cenário foi o método selecionado para tentar determinar qual destes melhor responde aos anseios de manter as condições hidrológicas naturais. Avaliou-se neste trabalho o comportamento à saída de todo o empreendimento, bem como, de cada lote individualmente. O modelo hidrológico utilizado foi o IPHS1, com aplicação dos métodos do antigo SCS (atual NRCS) para separar o escoamento e propagar a vazão pelo Hidrograma Unitário Triangular (previamente citados como Método TR-20/TR-55).

Para o cenário I, com base nas características do solo e de sua cobertura foi avaliado o comportamento de apenas um módulo (bacia) do modelo IPHS1, representando o comportamento da área natural.

Para os cenários II, III e IV, discretizou-se a bacia (condomínio) em sub-bacias (lotes) e cada uma destas em micro sub-bacias em função de suas coberturas e características hidrológicas, *e.g.*, capacidade de reter e/ou fazer infiltrar, como preconizam as estratégias de LID, método que pode minimizar a inserção de erro em comparação com o emprego de uma bacia (condomínio) concentrada ou de sub-bacias (lotes) concentradas, representando, por uma bacia com parâmetros médios, as

diversas coberturas existentes nestas. Esta discretização se fez necessária por não estar explicitada na literatura como agregar ao CN e ao Tc o efeito obtido do emprego de técnicas de controle de volume do escoamento, após ter sido detectada a necessidade do emprego de dispositivos com este fim. Como passou a ser representado um elemento por cobertura (não se estimou um CN médio), a precipitação precisou ser discretizada para estar na mesma ordem de grandeza do menor Tc obtido (como mencionado em 4.1). Algumas alterações no modelo também foram necessárias para possibilitar a propagação de escoamento entre micro sub-bacias, sendo a saída da micro sub-bacia de montante somada à precipitação efetiva para servir de entrada à micro sub-bacia em análise.

Para o cenário IV, fez-se necessário incorporar ao modelo mencionado as sub-rotinas de bio-retenção e de trincheiras de infiltração, por estas possuírem comportamento diferente dos elementos existentes no IPHS1 *i.e.*, bacia, reservatório ou trecho de água, além de adaptar o módulo trecho d'água para simular valos de infiltração.

### **Cenário I**

Para simulação deste cenário foram auferidos os parâmetros tempo de concentração (Tc), pelo Método Cinemático do SCS (1975) *apud* Tucci (2001), área e CN (74), seguindo as tabelas dispostas em SCS (1957) *apud* Tucci (2001), em conformidade com a situação natural do local antes da intervenção do homem (item 4.1).

## **Cenário II**

Buscou-se representar os lotes, bem como o condomínio, da mesma forma que antes de implementada a Lei complementar 434/99 (Porto Alegre, 1999), *i.e.*, sem controle de águas pluviais no condomínio (item 4.1.5). Para propagação nos condutos foi aplicado o método Muskingun-Cunge para condutos fechados, estando este presente no modelo IPHS1, sendo os mesmos dimensionados para um evento de Tempo de Retorno de 5 anos, conforme Porto Alegre (1996).

## **Cenário III**

O cenário III (item 4.1.5) se aproxima bastante do cenário II, com exceção do controle na saída do condomínio exercido pela bacia de retenção, método convencionalmente empregado em Porto Alegre (Cruz, 2004b). Seu dimensionamento foi efetuado para o controle de um evento com Tempo de Retorno de 10 anos, conforme Porto Alegre (1996). Os taludes mantiveram declividade de 1:3, tendo sido observada a altura dos condutos afluentes para que estes não fossem afogados, bem como foi impermeabilizado o caminho de fluxo a jusante dos condutos para evitar erosão.

## **Cenário IV**

Diante da exigüidade de espaço físico para alterações de disposição de lotes dentro do condomínio e de sua densificação, as alterações realizadas (item 4.1.5) buscaram controlar os impactos causados por impermeabilizações no condomínio. Quanto ao lote tipo empregado, as modificações na disposição destes buscam mitigar os impactos o mais próximo de sua fonte, objetivando melhorar o CN e manter o Tc.

Dentre as adaptações realizadas no modelo, a executada para representar valos de infiltração consistiu no emprego de contribuições laterais negativas a trechos de rio, para simular a infiltração. Já para as bio-retenções, embora consistam em melhoria do solo e zona de convergência do escoamento, e para as trincheiras de infiltração, foram elaboradas novas sub-rotinas representando depressões que servem para armazenamento enquanto água infiltra (seguindo a equação de Horton) pelas laterais e fundo.

Para estes dispositivos, necessita-se averiguar quão seco está o solo para determinação da taxa de infiltração nos valos e altura d'água pré-existente na bio-retenção e na trincheira de infiltração, remanescente dos últimos eventos de chuva. Os parâmetros de infiltração adotados (para equação de Horton) para solo tipo C foram  $I_b = 6,35 \text{ mm/h}$ ,  $I_o = 127 \text{ mm/h}$  e  $k = 0,0007 \text{ s}^{-1}$  seguindo Tucci (1998), os quais representam a taxa de infiltração para capacidade de campo ( $I_b$ ) e para solo seco ( $I_o$ ), bem como o decaimento desta ( $k$ ). Para o solo presente nas bio-retenções, tendo em vista que se trata de um solo preparado, foram adotados valores característicos de solos areno-argilosos (tipo B),  $I_b = 7,2 \text{ mm/h}$ ,  $I_o = 203,2 \text{ mm/h}$  e  $k = 0,0007 \text{ s}^{-1}$ . Visando minimizar a necessidade de manutenção dos dispositivos, a utilização de trincheiras de infiltração foi preterida pelo emprego de bio-retenções. Adotou-se um índice de umidade normal para o solo, *i.e.*, nem em capacidade de campo, nem muito seco, conduzindo a taxas médias de infiltração para os valos e a remanescência de 2 cm de água de eventos anteriores nas bio-retenções.

O dimensionamento destes dispositivos seguiu o artigo técnico de revisão de LID (U.S. Environmental Protection Agency, 2000), o Manual de bio-retenção

(Prince George's County, 2001), o Manual de Águas Pluviais da Geórgia (Georgia, 2001) e o exercício exposto no Manual de LID (United States, 2004), apresentando as bio-retenções uma depressão de armazenamento de 7,5 cm (depressão mínima aconselhável) para lote-A e 15 cm (depressão máxima) para demais lotes, com profundidade de solo preparado de 1 m (profundidade mínima = 75 cm). Os valos de infiltração foram dimensionados com seção trapezoidal de 0,2 m de altura e 3 m na base maior e 1,8 m na menor, prevalecendo do espaço obtido do estreitamento da rua e disposição de estacionamento em apenas um dos lados da via. As dimensões dos dispositivos por lote foram caracterizadas como satisfatórias quando os critérios da norma, quanto ao controle do escoamento na saída destes foram admitidos como equivalentes, ou bem próximos, ao obtido para cobertura natural, objetivando demonstrar a eficácia do controle proposto.

#### **4.2.2 Avaliação Financeira**

A avaliação dos custos de instalação e manutenção do sistema de drenagem de todo o condomínio para cada cenário foi o método selecionado para a avaliação financeira, sem considerar os benefícios e despesas indiretas (BDI) da construção, e os custos e benefícios dos impactos e das possíveis medidas de mitigação fora do lote, que muito provavelmente mostrariam maiores vantagens ao cenário IV. A obtenção do valor de instalação e manutenção por lote foi realizada, tendo em vista que indiretamente os proprietários são onerados por toda a obra.

Para avaliação dos custos de instalação, foram consideradas apenas as estruturas que podem intervir no escoamento de águas pluviais, como a pavimentação do solo e a aplicação de grama, considerando que a impermeabilização

tem a finalidade de acelerar o escoamento. O cômputo do custo do arruamento foi realizado, considerando que a diminuição de sua área para o cenário IV contabiliza como benefício ao ser adicionado como custo nos cenários II e III.

A avaliação dos custos de manutenção mensal dos sistemas de drenagem pode fornecer indícios, por não ser realizado o levantamento dos custos de desobstrução ou limpeza dos dutos, bocas-de-lobo, poços de visita e detenção, quanto à vantagem ou desvantagem do emprego das estratégias de LID, por serem estes serviços de pequena periodicidade pertinentes aos cenários II e III.

#### **4.2.3 Quantificação de Áreas “Verdes”**

A preservação de áreas verdes apresenta benefícios hidrológicos e financeiros indiretos, como potencial melhoria de qualidade de vida e valorização pelo paisagismo, que, por conseguinte, eleva o poder de mercado do empreendimento, em virtude do apelo à preservação ambiental. Por esta razão foram quantificadas as áreas naturais preservadas, bem como, as áreas gramadas após o desenvolvimento dos cenários.

### **4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **4.3.1 Avaliação Hidrológica**

Buscando comprovar que a metodologia proposta na literatura (Prince George’s County, 1999b), a qual propõe a (Equação 1 para determinação do CN médio e do  $T_c$  pelo Método Cinemático do SCS, não representa devidamente o

hidrograma resultante do emprego de LID foram simuladas as duas alternativas (Figura 47).

$$CN_c = CN_p + \left( \frac{P_{imp}}{100} \right) x (98 - CN_p) x (1 - 0.5R) \quad (\text{Equação 1})$$

onde R é a razão da área impermeável desconectada pela área total;  $CN_c$  o CN médio;  $CN_p$  o CN permeável e;  $P_{imp}$  o percentual de área impermeável local.

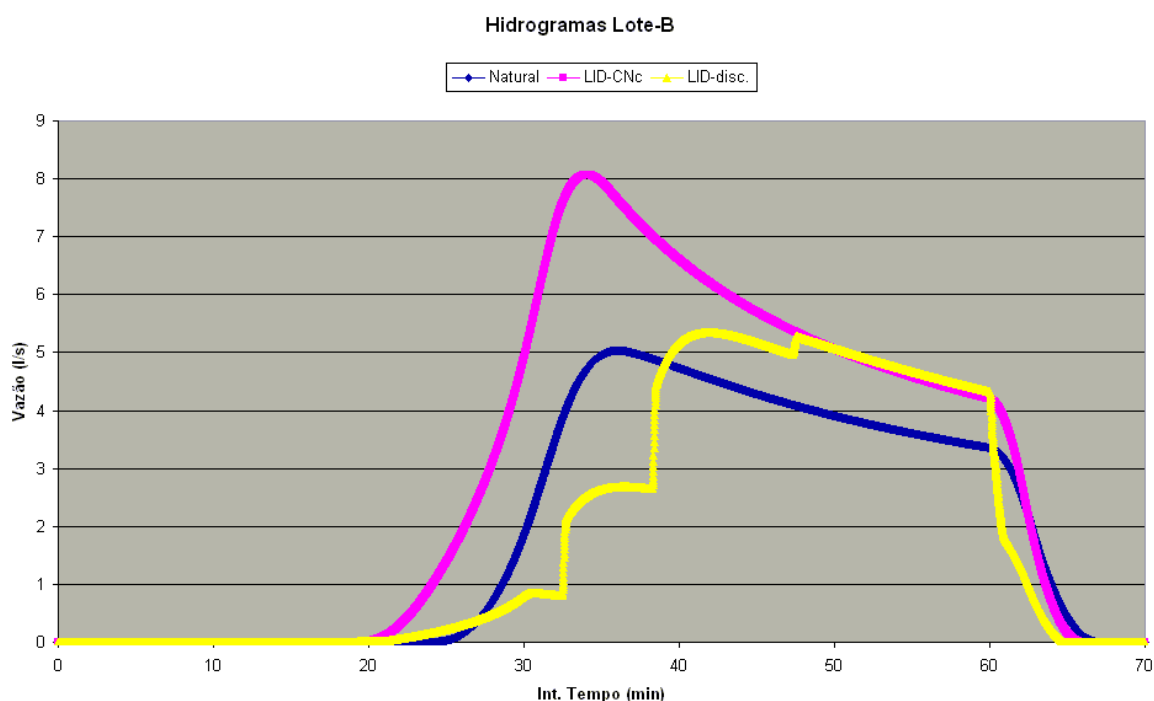


Figura 47: Ineficiência do uso do  $CN_c$

Como pode ser observado, embora tenham sido utilizadas bio-retenções para aproximar o volume total do escoamento, após o desenvolvimento do lote, do volume de escoamento para o caso natural, o hidrograma resultante da utilização do CN médio(77), obtido da (Equação 1, para  $CN_p$  de 71,5,  $P_{imp}$  de 42% e R igual a 1, e de  $T_c$  (3,7 min) ignora a utilização destes dispositivos.

Para as configurações de lote adotadas atendendo cada cenário (item 4.1.5) e pela discretização destes por cobertura, o comportamento hidrológico resultante foi o seguinte (Figura 48, Figura 49, Figura 50 e Figura 51):

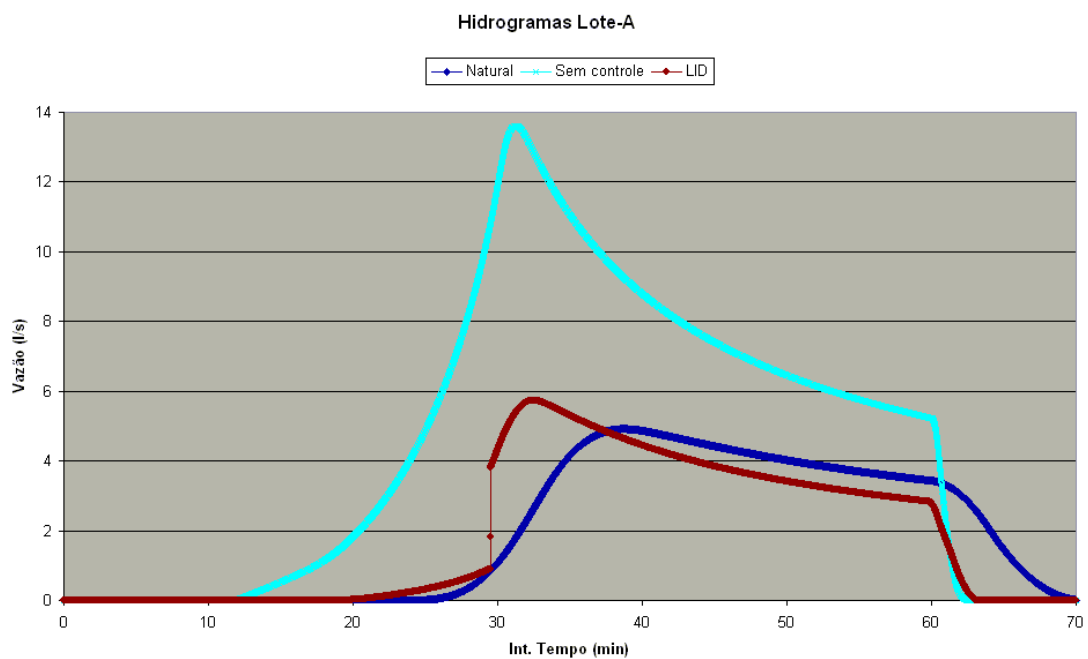


Figura 48: Respostas do Lote-A para os diferentes cenários

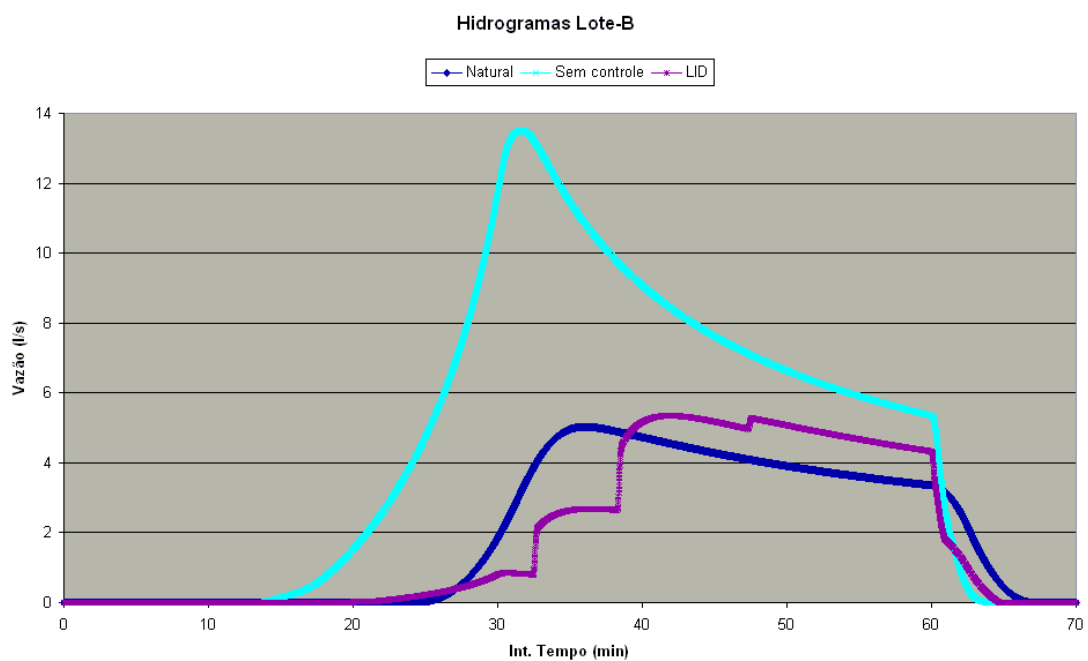


Figura 49: Respostas do Lote-B para os diferentes cenários



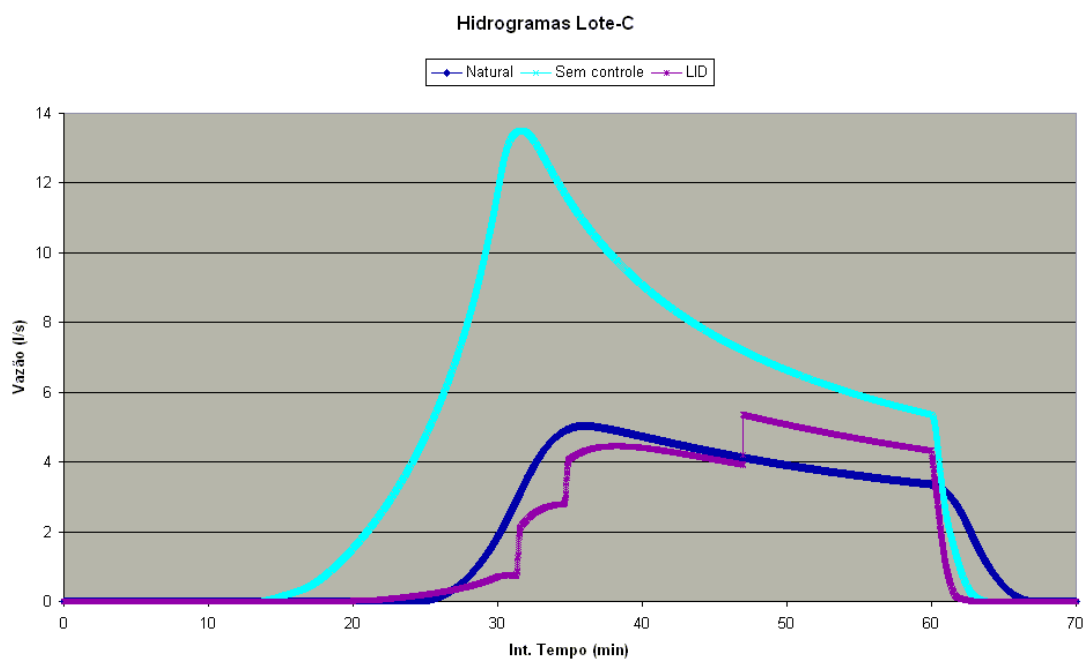


Figura 50: Respostas do Lote-C para os diferentes cenários

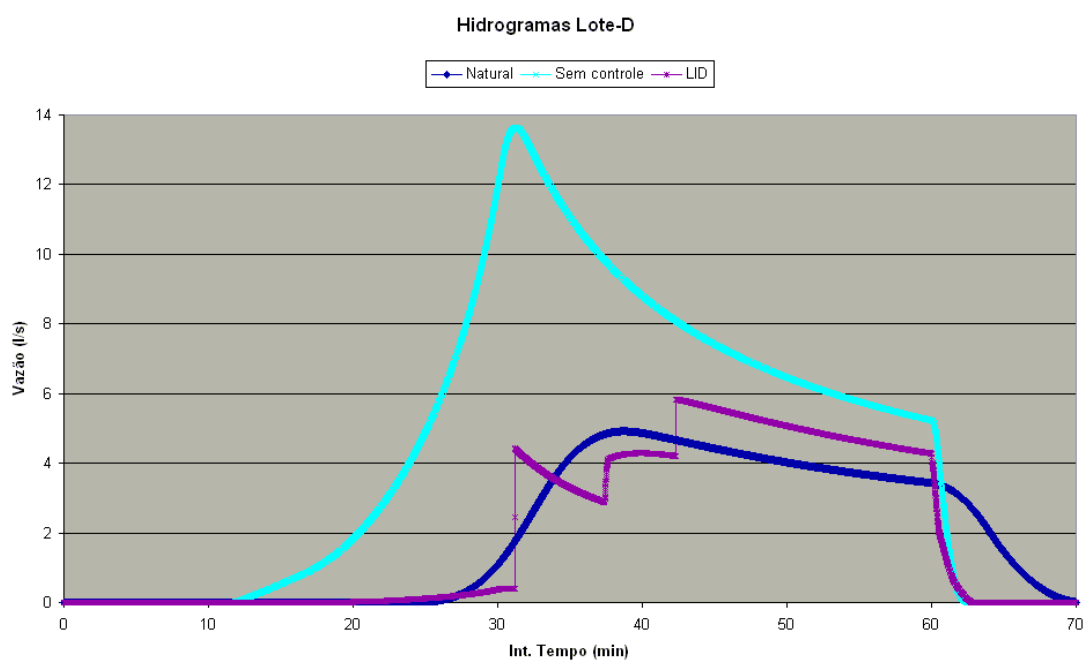


Figura 51: Respostas do Lote-D para os diferentes cenários

Pode-se observar que os hidrogramas por lote para as estratégias de LID obtiveram comportamento bem próximo do natural, para os critérios volume, pico e duração do escoamento.

Como previamente justificado, foram aceitos os valores obtidos para o dimensionamento dos dispositivos quando o volume foi equivalente ao volume para o cenário I, mesmo não atendendo plenamente ao critério de pico do escoamento, mas estando bem próximo, embora fosse possível com pouco esforço (Figura 52), e.g., apenas por aprofundar em 7,5 cm as bio-retenções existentes no Lote-A, que possuíam 7,5 cm de altura de espera.

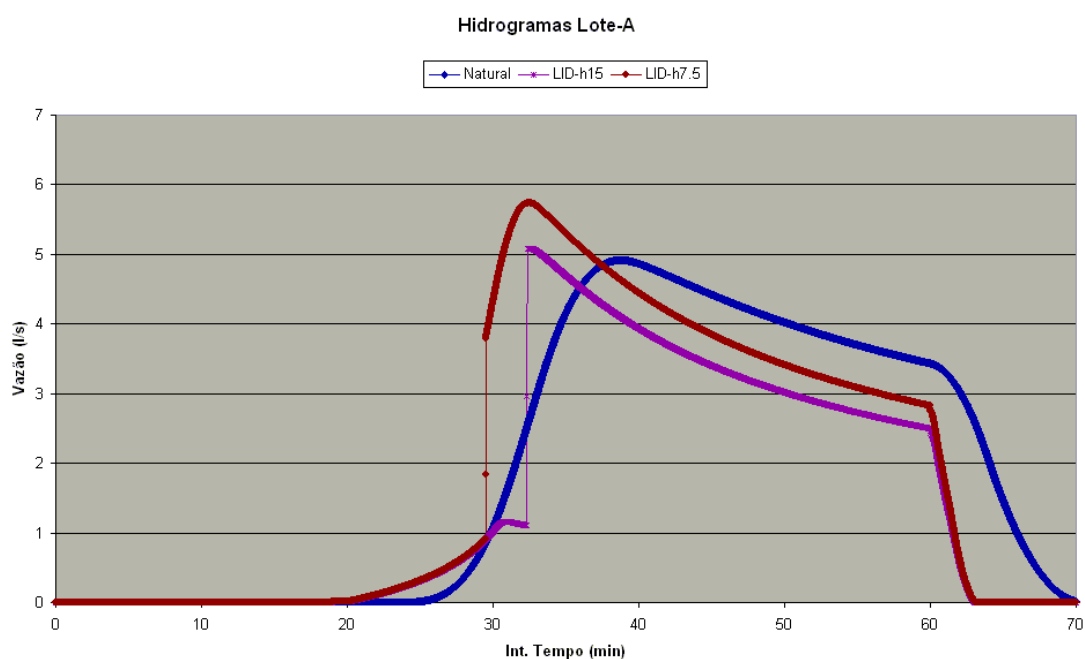


Figura 52: Aproximação do pico para Lote-A pelo aumento da profundidade da bio-retenção

O comportamento hidrológico obtido da simulação discretizada dos lotes apresenta saltos, característica incomum aos hidrogramas, devido à atividade das bio-retenções que atuam armazenando água para posterior infiltração (Figura 53).

Observe que o início do escoamento (*first flush*), onde, nos primeiros 25mm (26,14 min. para este evento) de chuva normalmente se concentram 95% da carga poluidora (Tucci, 2003), é absorvido pelas bio-retenções, apresentando um controle

de qualidade do escoamento que não é efetuado pelas técnicas convencionais de controle.

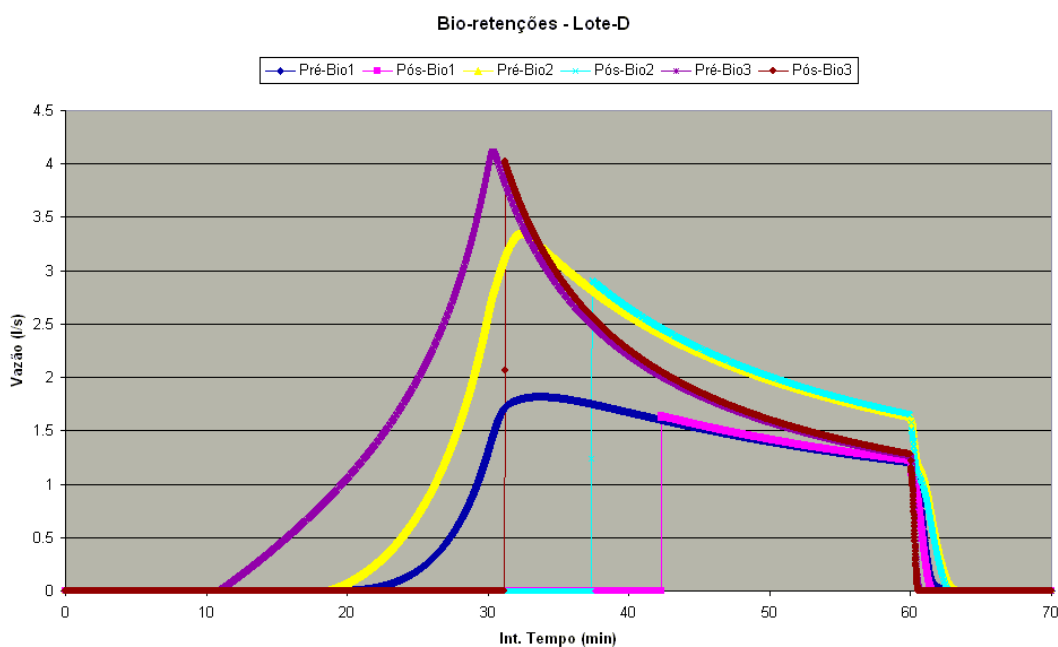


Figura 53: Comportamento das bio-retenções

De posse dos resultados obtidos da simulação para os eventos de tempo de recorrência de 5, 10 e 50 anos (TABELA 2, Figura 54 e Figura 55), com dimensões do lote e de seus dispositivos fixadas para o evento de projeto (ver item 4.1.5), observa-se que:

- ✓ Para eventos com maior frequência que a estabelecida como critério de projeto (TR de 5 anos), as estratégias de LID controlam bem o escoamento para todos os critérios;
- ✓ Para eventos menos frequentes que o de projeto (TR de 50 anos), nota-se que os caminhos propostos por LID para controle no lote satisfazem o critério de duração do escoamento com boa aproximação para o pico;

- ✓ Um acréscimo de 14,8% de volume com relação ao escoado por cobertura natural para um evento extremo, como o de TR de 50 anos, sugere que as estratégias de LID respondem bem aos anseios de controle.

TABELA 2: VOLUMES ESCOADOS PARA FORA DO LOTE.

TR\Cenário	I	II & III	IV	(II & III)/I	IV/I
<b>5 anos</b>	5,743 m <sup>3</sup>	14,713 m <sup>3</sup>	4,388 m <sup>3</sup>	2,562	0,764
<b>10 anos</b>	8,172 m <sup>3</sup>	18,821 m <sup>3</sup>	7,778 m <sup>3</sup>	2,303	0,952
<b>50 anos</b>	16,689 m <sup>3</sup>	31,572 m <sup>3</sup>	19,153 m <sup>3</sup>	1,892	1,148

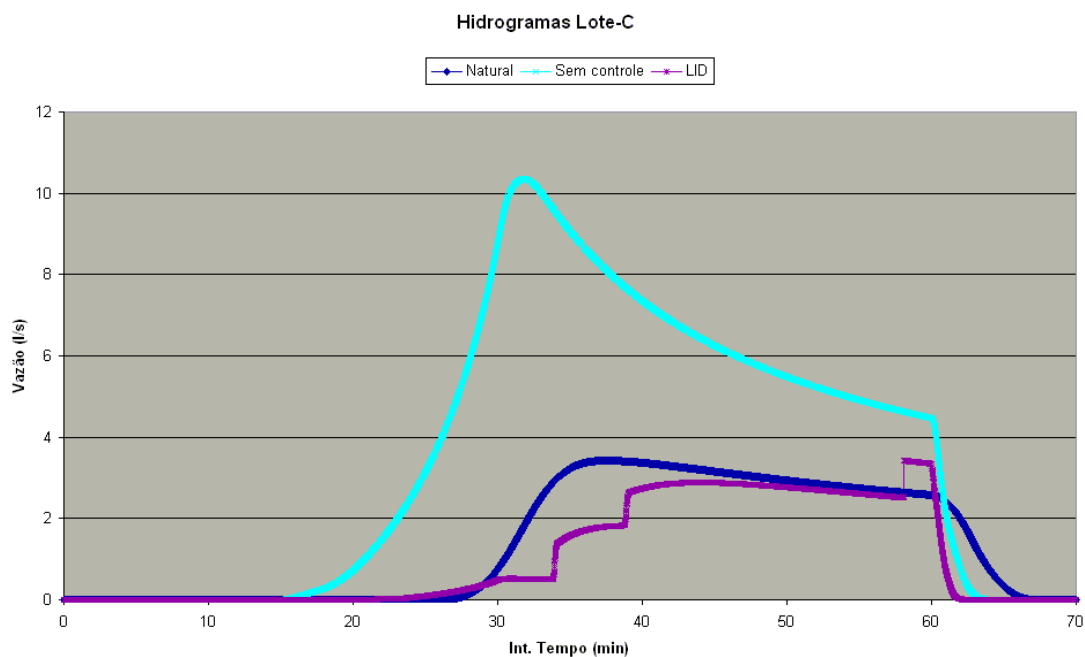


Figura 54: Respostas do Lote-C para evento de (TR) 5 anos.

Com base nos resultados obtidos da simulação de todo o condomínio (TABELA 3 e Figura 56), para a chuva de projeto (TR de 10 anos), comprova-se que:

- ✓ O emprego de bacias de retenção apenas redistribui volumes, lançando para jusante o acréscimo de volume, como esperado;

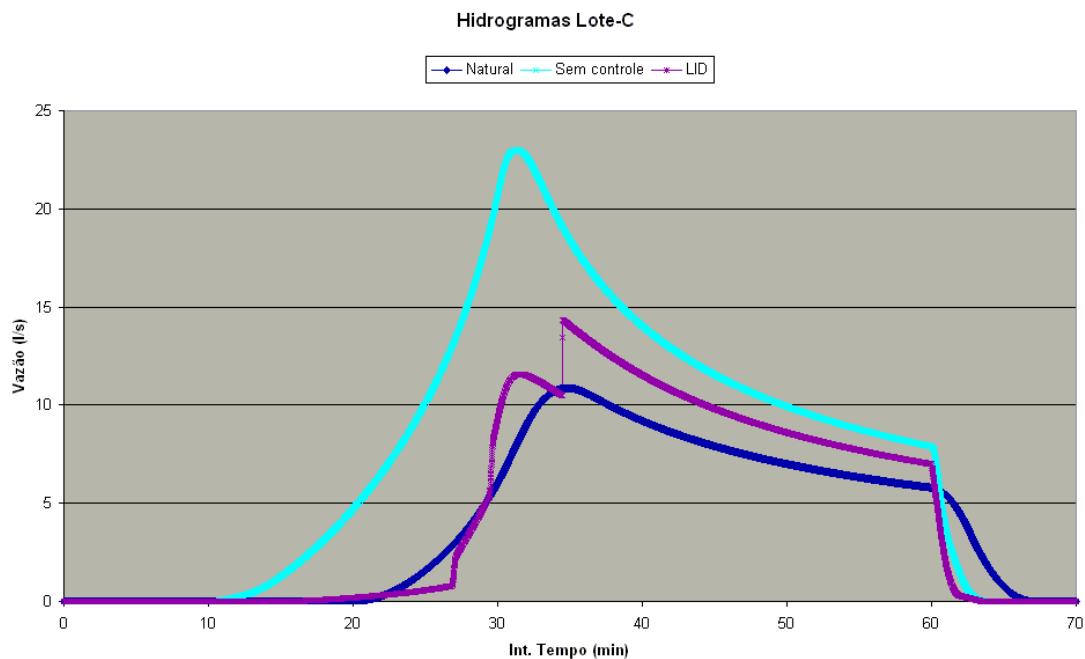


Figura 55: Respostas do Lote-C para evento de (TR) 50 anos.

- ✓ A ausência de controle antecipa e eleva o pico do escoamento, além de aumentar seu volume e sua duração, também esperado;
- ✓ O controle por LID atende plenamente aos critérios de duração e volume;
- ✓ O controle pleno do pico à saída do todo (condomínio), provavelmente, sofre influência da ausência de controle pleno das partes (lotes) (Figura 48, Figura 49, Figura 50 e Figura 51);
- ✓ O controle de qualidade, inerente ao armazenamento da primeira parcela de chuva pelas bio-retenções, é realizado apenas para o cenário IV;
- ✓ É possível atingir efetividade zero de áreas impermeáveis.

TABELA 3: VOLUMES ESCOADOS PARA FORA DO CONDOMÍNIO.

Cenário	I	II	III	IV
Volume (m <sup>3</sup> )	204,296	589,475	589,475	189,648

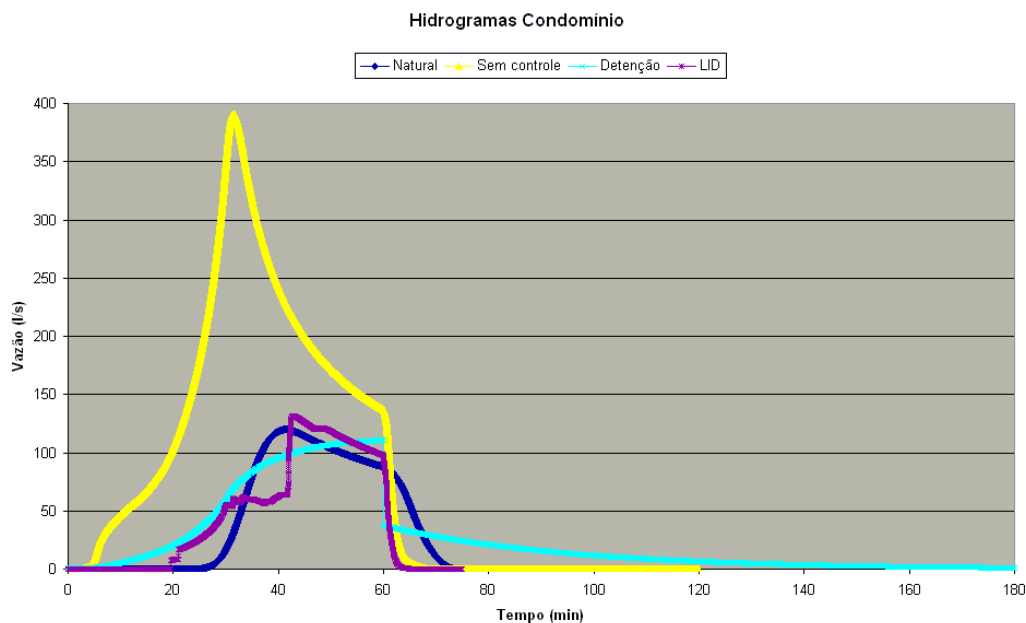


Figura 56: Respostas do condomínio à chuva de projeto para os diferentes cenários.

### 4.3.2 Avaliação Financeira

Para composição dos serviços (ver detalhamento no Anexo D) e de seus custos finais, recorreu-se a referências que tiveram seus valores atualizados pela variação do Índice Geral de Preços (IGP) da Fundação Getúlio Vargas (2005) (também presente no Anexo D).

Avaliando a composição de custos para o cenário II (Figura 57), percebe-se que a utilização de dispositivos ligados à condução de águas pluviais (tubulação, meios-fios, bocas-de-lobo e poços de visita) é responsável por 32,75% dos custos totais (R\$ 44.659,59) do condomínio, não contabilizando as superfícies cimentadas e pavimentadas (22,5% e 41,51%, respectivamente).

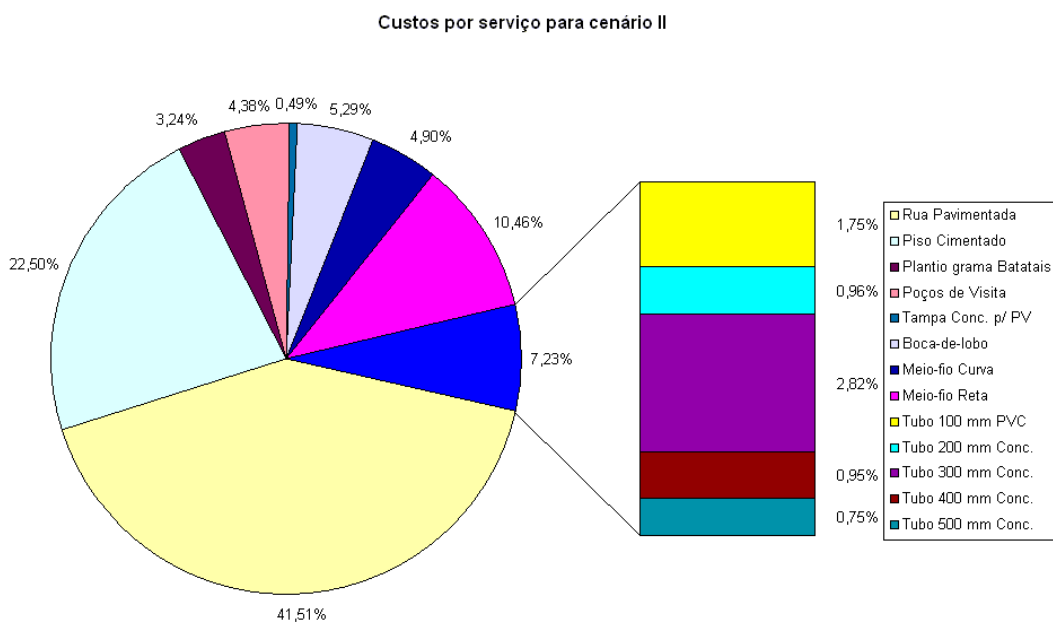


Figura 57: Composição de custos – Cenário II

Para o cenário III (Figura 58), estes mesmos serviços são responsáveis por 39,36% dos custos totais de drenagem (R\$ 59.525,22), sendo a escavação para construção da detenção responsável pela diferença entre os dois cenários (II e III).

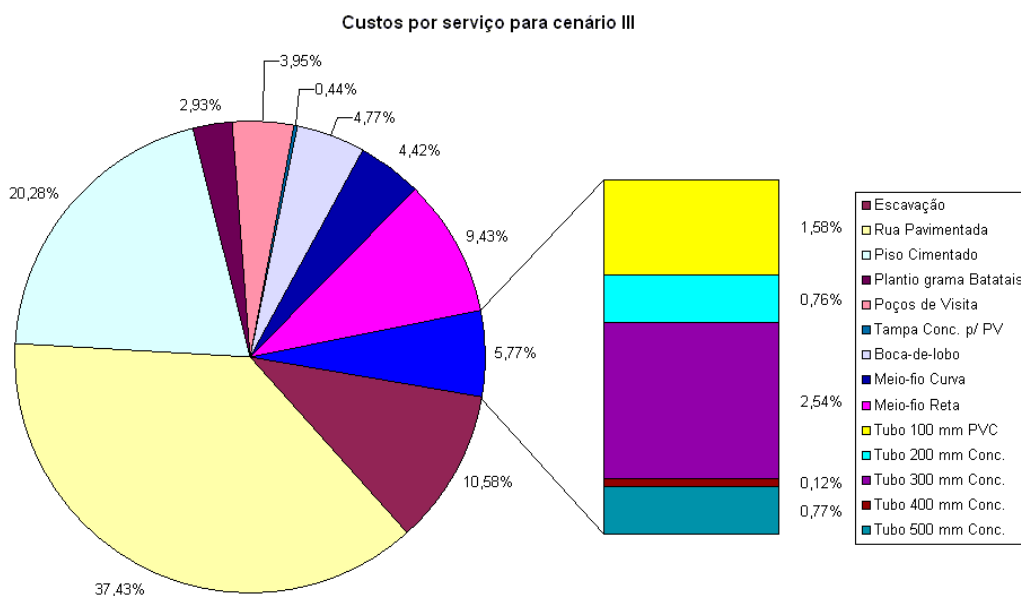


Figura 58: Composição de custos – Cenário III.

Para o emprego de técnicas de LID, os custos para desenvolvimento de dispositivos (bio-retenções, valos de infiltração e áreas gramadas) de armazenamento e infiltração do escoamento (preparo do solo, escavação e plantio de grama) são responsáveis por 54,95 % (R\$ 57.382,17) do total empregado no controle da drenagem (Figura 59).

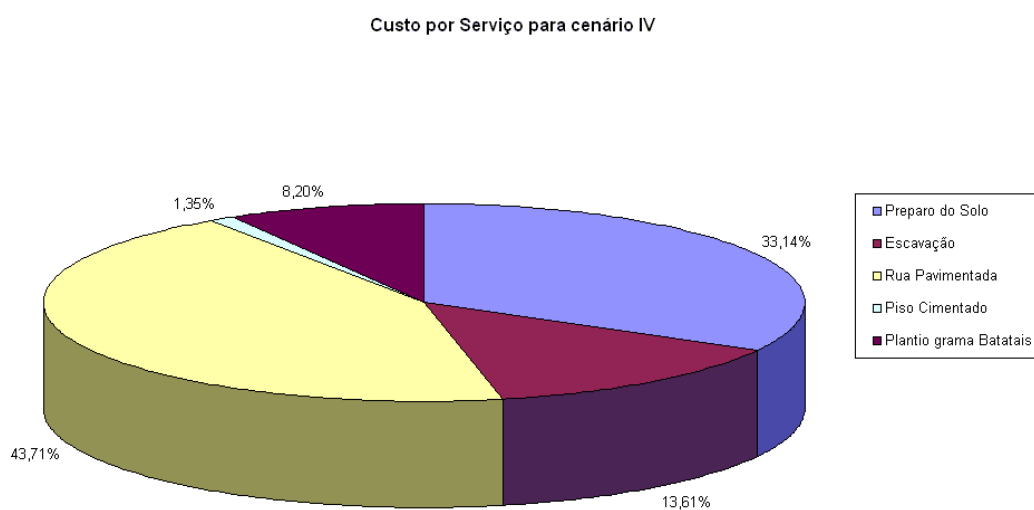


Figura 59: Composição de custos – Cenário IV

A Figura 60 ilustra os serviços utilizados, bem como seus custos por cenário.

Quanto à manutenção destes sistemas de drenagem, os custos mensais para manutenção do condomínio (Figura 61) representaram aproximadamente 35% em comparação com os métodos convencionais, mesmo sem considerar a limpeza da detenção, dos dutos, bocas-de-lobo e poços de visita.. Os custos para limpeza de piso cimentado elevam bastante o custo mensal por ter sido arbitrada limpeza com ácido muriático e estopa, realizada semestralmente. A irrigação das áreas “verdes” no cenário IV é responsável por 82,26% dos custos mensais. Caso fossem empregados



dispositivos visando o reuso de toda a água precipitada (barris de chuva e/ou cisternas dimensionados para eventos de 10 anos de recorrência), os custos cairiam para apenas R\$ 89,85.

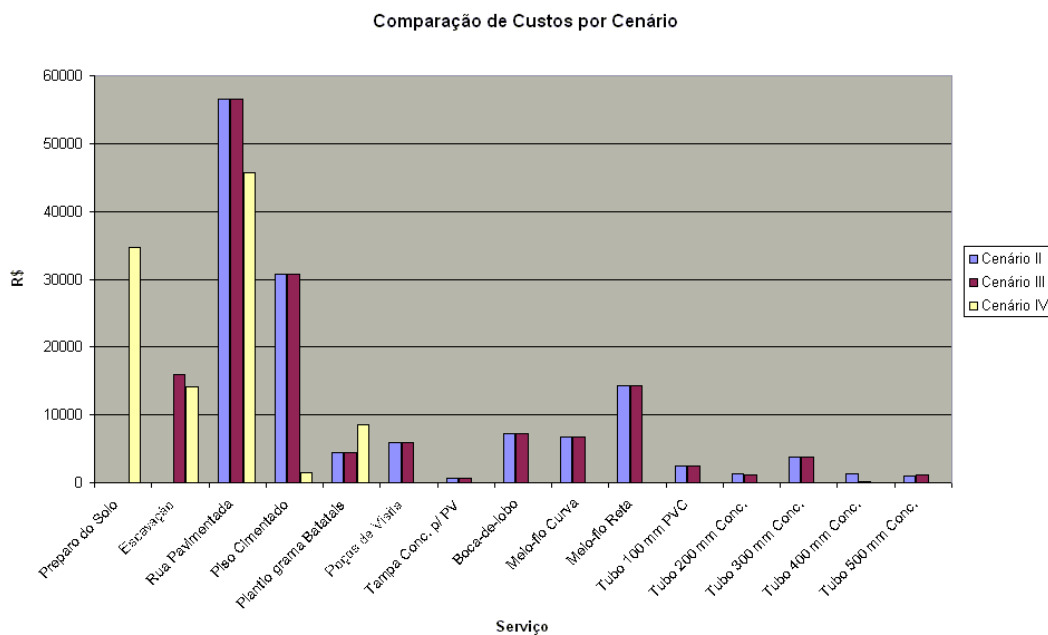


Figura 60: Comparação de Custos por serviço.

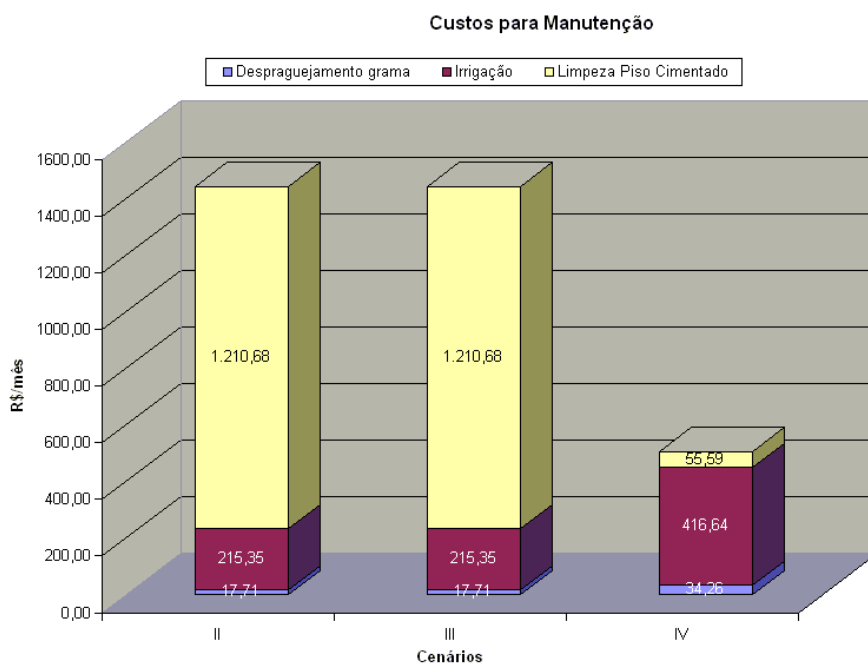


Figura 61: Custos parciais de manutenção para os diferentes cenários.

Diante dos custos finais para instalação do sistema de drenagem de águas pluviais (Figura 62), comprova-se a economia obtida do emprego de controles próximos à fonte (cenário IV) frente a medidas para controle mais distantes (em torno de 23% para o cenário II e 30,5% para o cenário III), enquanto o emprego de bacias de retenção para controle do pico de vazões é responsável por aumento de 10,9% (R\$ 14.867,62 para o caso em estudo) dos custos totais de sistemas de drenagem com relação ao caso sem controle para a área interna ao condomínio. Importante salientar que os custos e benefícios correspondentes aos impactos e às medidas de mitigação a ser empregadas fora do lote não foram computados, apresentando este estudo a avaliação sob a ótica do empreendedor.

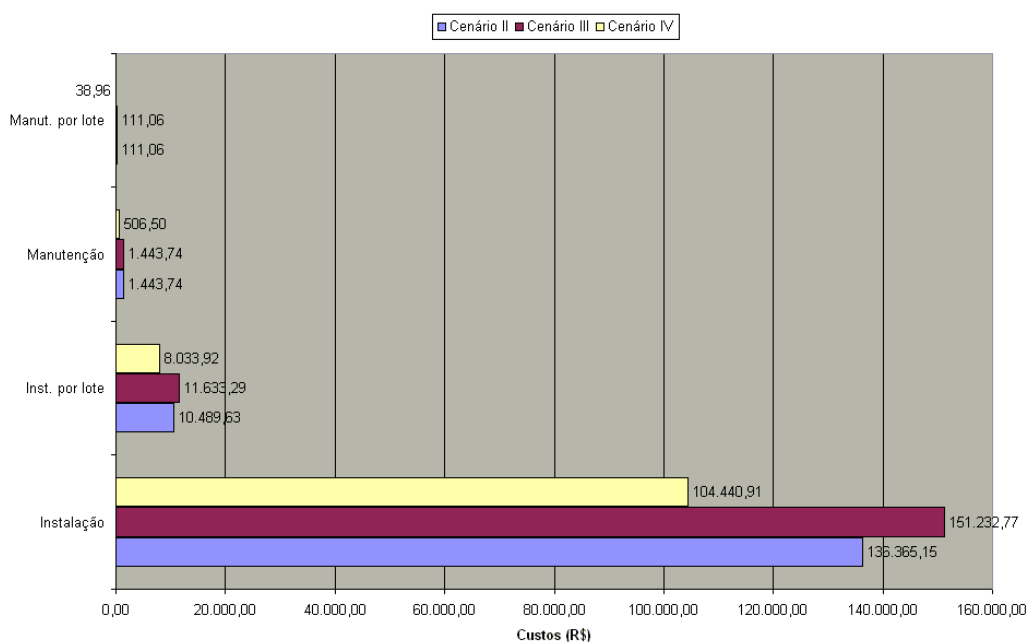


Figura 62: Custos parciais para os diferentes cenários.

Comparando os custos para manutenção com os custos de instalação, verifica-se que seriam necessários 0,48% do total empregado para instalação, em detrimento aos 1,06% e 0,95% para os cenários II e III, respectivamente,

correspondendo a aproximadamente metade do custo atualmente pago para manutenção.

### 4.3.3 Quantificação de Áreas “Verdes”

Conforme a proposta de LID de fazer uso da vegetação e de preservar áreas naturais ao máximo, obteve-se (Figura 63) conservação de 6,72% de área para o cenário IV (mais que o dobro dos outros cenários). As áreas “verdes” totalizaram 15,34% de todo o condomínio, em detrimento aos 7,54% existentes para o emprego de técnicas convencionais. Estes valores poderiam ser maiores, caso se fizesse opção por telhados verdes, preteridos para não alterar demais os projetos arquitetônico e estrutural originais. Quanto a esta alternativa, maiores considerações quanto à manutenção destes dispositivos devem ser avaliadas quanto à empregabilidade em edificações unifamiliares.

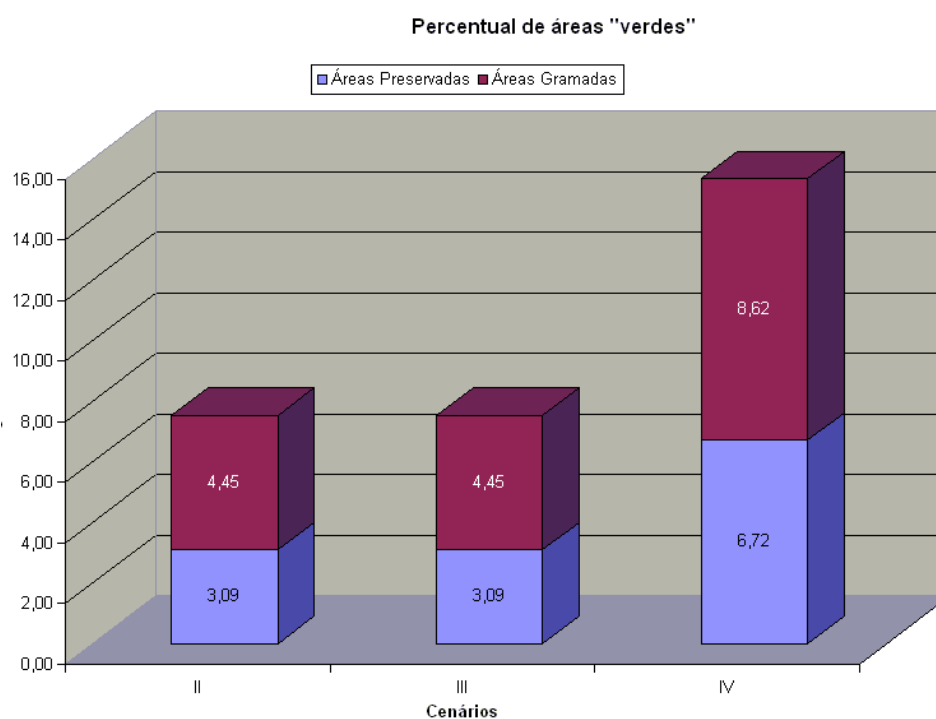


Figura 63: Quantificação de áreas “verdes” para os diferentes cenários.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### CONCLUSÕES

Este trabalho objetivou identificar e avaliar os mecanismos técnico-institucionais que possibilitem a implantação de um sistema de drenagem urbana sustentável. A tecnologia de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (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.

Por intermédio de avaliações numéricas do comportamento hidrológico de um condomínio hipotético de alto padrão, para as condições de chuva e solo desta cidade, observou-se o controle do volume, duração e pico para as condições naturais. O controle de qualidade, possivelmente também foi realizado, uma vez que as bio-retenções captam a primeira parcela da chuva, responsáveis pela maior carga de poluição. 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). Estes dados seriam apenas indícios dos possíveis resultados do emprego desta tecnologia, por não ter sido levados em conta o emprego de telhados-verdes, a manutenção de alguns dispositivos de condução de águas pluviais para os casos sem controle no condomínio e com controle por reservatórios de detenção.

O estudo de caso desenvolvido neste trabalho não expressa os potenciais resultados que podem ser obtidos para condomínios de menor padrão ou desenvolvimentos individuais, muito embora esta tecnologia possa apresentar melhores resultados, ou na pior das condições, resultados similares ao controle de drenagem habitualmente empregados. Esta afirmação se justifica por serem, as soluções habitualmente empregadas, possíveis alternativas utilizadas quando as características locais impedem a aplicação de soluções mais próximas da sustentabilidade.

Os objetivos do PDDUA de garantir promoção da qualidade de vida e do ambiente, assim como, redução das desigualdades e exclusão social, se caracterizam possíveis pela utilização de práticas como o Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, em detrimento às convencionalmente empregadas. Avanços quanto à tentativa de aproximar o controle da drenagem da sustentabilidade econômica e ambiental são atestados pelos melhores resultados obtidos das simulações hidrológica e financeira e da avaliação da preservação de áreas com vegetação. Vantagens sociais estariam vinculadas à maior facilidade de construção de programas de arrendamento residencial por parte do poder público, pela diminuída necessidade de espaço físico e menor custo dos sistemas de controle de águas

pluviais, e ao possível aumento de oportunidade de trabalho ligado à manutenção de áreas “verdes” e reciclagem de materiais que não mais escoariam através dos condutos, para os casos onde estes não fossem mais necessários.

O reuso de águas pluviais, principalmente para usos menos nobres, *e.g.*, a rega de jardins, pode representar solução interessante, particularmente em períodos de maior necessidade de racionalização do uso de águas, por ser menos custosa técnica, financeira e ambientalmente que as medidas usuais para captação. Não se deve, no entanto, esquecer a importância que a infiltração, caminho alternativo, representa para alimentação de corpos receptores e para conseqüente preservação de ecossistemas, beneficiada pelo tratamento qualitativo que a própria bacia exerce, devendo ser estimulada a conservação de suas taxas naturais.

Para a efetiva aplicação destas práticas, ajustes nos mecanismos técnico-institucionais devem ser realizados, com alterações na estrutura do corpo municipal, abrangendo o desenvolvimento apropriado de equipes de fiscalização e avaliação da efetividade de medidas, aprovação de projetos, capacitação de recursos humanos e revisão de manuais e legislação.

A elaboração de legislações, como a lei complementar e o decreto propostos no trabalho, surge como oportunidade atraente, pela função que estas desempenham ao forçar o emprego das normas nela descritas. A predileção por legislações com emprego obrigatório das estratégias de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto se justifica pela igual necessidade de re-estruturação do corpo institucional municipal para certificar os empreendimentos, caso o emprego fosse facultativo; pela

possibilidade de não serem realizados controles adequados pelos maiores empreendimentos; bem como, por estar inserido ao conjunto de ambições do PDDUA. Verifica-se, no entanto, a carência por elaboração de um Manual que oriente práticas de LID, assim como, de legislações de uso do solo que apresentem clara concernência ambiental.

O processo de integração e implementação de LID provavelmente providenciará lições práticas para outras jurisdições tentando adotar práticas de desenvolvimento alternativo, além de fornecer oportunidade interessante para a capacitação do corpo técnico envolvido com esta tarefa. A construção de projetos demonstrativos bem concebidos, incluindo o estudo experimental dos dispositivos, possivelmente auxiliará na educação da população e profissionais relacionados à área de construção e paisagismo.

A educação ambiental de toda a população deve ser efetuada de forma efetiva, servindo proporcionando esta um mecanismo controlador da emissão de efluentes (concernência ambiental da população), fato que evita a infiltração de poluentes aos aquíferos subterrâneos e de provedor de fiscalização da gestão da drenagem pelo poder público (resposta da população ao conhecimento da causa).

## **RECOMENDAÇÕES**

Os resultados obtidos da simulação numérica apresentam como possíveis fontes de erro a inserção, passível de incerteza, dos parâmetros, *e.g.*, CN e Tc, e a utilização de índice econômico, como o IGP, para representar a variação de custos de

serviços de construção e manutenção, tendo em vista que a atualização dos valores dos serviços não segue a variação deste que representa a média das variações. Evidencia-se, portanto, a necessidade de desenvolver caminhos mais parcimoniosos para obtenção do comportamento de áreas em que foram empregadas estas estratégias, possivelmente buscando nova metodologia que represente a ação de práticas de micro-gestão (IMPs) na forma de abatimento do potencial de escoamento (*Curve Number*) e correção do Tempo de Concentração resultante coerentes com o resultado obtido para a simulação com discretização por cobertura.

O desenvolvimento de um capítulo e/ou manual de LID, e também de legislações de uso do solo com enfoque ambiental, surgem como recomendações oportunas, sendo ainda interessantes estudos quanto à melhor forma de coletar resíduos sólidos próximos à sua fonte e amenizar a produção de sedimentos, diretamente relacionados ao controle da drenagem.

A sugestão de desenvolver projetos-piloto apresenta oportunidade para muitos estudos inseridos neste, abrangendo estudos experimentais dos dispositivos estimulados por esta nova tecnologia, o efeito que a combinação de diferentes dispositivos podem produzir, além do desenvolvimento e da viabilidade de alternativas de monitoramento.

A necessidade de estudar como seria um programa eficiente e eficaz de educação pública a ser aplicado à realidade nacional se apresenta veemente. A capacitação da população, possivelmente, resulta em maior rigor quanto às atividades



exercidas pelo poder público, em facilidade de gerenciar a infra-estrutura urbana e em menores impactos negativos para o meio ambiente.

O princípio básico do financiamento, proposto por Tucci (2003), para Planos Diretores de Drenagem Urbana brasileiros é o de distribuir os custos de acordo com a área impermeável. Estudos quanto à melhor forma de onerar os responsáveis pelos impactos no escoamento, incluindo a distribuição de custos com base na área impermeável efetiva surgem como alternativa interessante. Análises quanto ao método e à aquisição de dados (avaliação da efetividade de áreas impermeáveis) para fiscalização, cobrança e monitoramento devem ser realizados.

Focalizar esforços à compreensão e ao desenvolvimento de caminhos para a implantação da tecnologia alternativa de LID a antigos empreendimentos, assim como à difusão desta no meio científico, vislumbrando seu emprego pelo país, parece ser uma recomendação interessante decorrente dos resultados obtidos com este trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRH. 2004. (Site). Disponível em <[http://www.fisica.furg.br/AguasUrbanas/imagem\\_alagamento.htm](http://www.fisica.furg.br/AguasUrbanas/imagem_alagamento.htm)>. Acesso em 15 abr. 2004.

ASSOCIATION OF BAYSIDE MUNICIPALITIES. Stormwater Implementation Project: Statutory Framework and Standards. In: **Port Phillip: Coastal and Marine Planning Program**. Reports. Austrália. 2001. Disponível em: <<http://www.abmonline.ash.au/cmpp/stormwater.cpm>>. Acesso em 30 ago. 2004.

AUSTRALIA. Department of the Environment and Heritage. **Introduction to Urban Stormwater in Austrália**. Austrália, 2002. 103 p. Disponível on-line em: <[www.deh.gov.au](http://www.deh.gov.au)> Acesso em 18 jun. 2004.

BAPTISTA, M. B.; *et. al.* Aspectos da evolução da urbanização e dos problemas de inundações em Belo Horizonte. In: BRAGA, B.; TUCCI, C.; TOZZI, M. **Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ ABRH, 1998. p.39-50.

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, p.29-49. 2002.

BRASIL. **Lei Federal n. 9433, de 08 de janeiro de 1997**. Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente. 1997. 33p.

BURGIERMAN, D.R. Grande Prêmio Super Ecologia 2002. O Fim da Sede. **Superinteressante**. São Paulo: Editora Abril, jun. 2002. ed.177, p.48-51. Disponível on-line em <<http://www.superinteressante.com.br>>. Acesso em 12 mar. 2005.

CALLADO, N. H. **Despejo de Efluentes em Maceió**. Maceió: Departamento de Construção Civil e Transportes, Universidade Federal de Alagoas, 20 de dezembro. 2004. [Comunicação Pessoal]

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.

CONSTRUÇÃO MERCADO. São Paulo: Ed. Pini, jun. 04. Ano 57. n.35.

CRUZ, Marcus Aurélio Soares. **Otimização do Controle da Drenagem em Macro-bacias Urbanas**. 2004a. XV. [217]f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre. BR-RS, 2005.

CRUZ, M.A.S. **Estado do Controle de Águas Pluviais em Porto Alegre**. Porto Alegre: Departamento de Esgotos Pluviais, Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 13 de dezembro. 2004b. [Comunicação Pessoal]

FAULKNER, B. The control of surface water runoff from new development – UK national ‘policy’ in need of review? **Urban Water**. v.1., p.207-215. 1999. Disponível on-line em <<http://www.elsevier.com/locate/urbwat>> Acesso em 07 abr. 2004.

FENDRICH, R. & OLIYNIK, R. (Tradutores). **Manual de Utilização das Águas Pluviais (100 Maneiras Práticas)**. Curitiba: Livraria do Chain Editora, 2002. 167 p. Tradução: Rainwater and You: 100 ways to use rainwater.

FLEURY, M. O desafio de conter as águas. **Zero Hora**, Porto Alegre, 11 jul. 2004. p.12-14.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **IGP: Índice Geral de Preços**. 18 fev. 2005. Disponível on-line em: <<http://www.fgvdados.com.br>>

GEORGIA Stormwater Management Manual: stormwater policy guidebook. ARC. Georgia, Aug. 2001. Disponível em: <[www.georgiastormwater.com/vol1/gsmmvoll.pdf](http://www.georgiastormwater.com/vol1/gsmmvoll.pdf)>. Acesso em: 16 jun. 2004.

HEDGCOCK, D.; MOURITZ, M. Water sensitive residential design: from research to implementation. In: Hydropolis. The role of Water in Urban Planning. International UNESCO-IHP Workshop. (1993, Wageningen and Emscher region). Van Engen, Hans; Kampe, Dietrich; Tjallingii, Sybrand. **Proceedings...** Leiden: Backhuys Publishers, 1995. p.177-202.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning and hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v.1, p.307-316. 1999. Disponível on-line em <<http://www.elsevier.com/locate/urbwat>> Acesso em 23 jun. 2004.

HINMAN, C. Integrating and Implementing Low Impact Development in the Pierce County Land Use Development Process. In: **Puget Sound Water Quality Action Team. Low Impact Development in Puget Sound – Innovative Stormwater Management Practices**. Puget Sound, Washington, 2001. Disponível em: <[http://www.psat.wa.gov/Publications/Pub\\_Master.htm](http://www.psat.wa.gov/Publications/Pub_Master.htm)>. Acesso em 20 out. 2004.

LEE, T.S. Buried Treasure. In: **Civil Engineering Magazine**, v.74, n.1, p.31-41. 2004.

LOW IMPACT DEVELOPMENT CENTER. **Low Impact Development Pilot Project Practices: Naval District Washington**. Maryland. 2004. Disponível em <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>> Acesso em 14 jun. 2004.

McDONALD, K. Soils for Salmon: Integrating Stormwater, Water Supply and Solid Waste Issues in New Development and Existing Landscapes. In: PUGET SOUND WATER QUALITY ACTION TEAM. **Low Impact Development in Puget Sound - Innovative Stormwater Management Practices**. Puget Sound, Washington, 2001. Disponível em: <[http://www.psat.wa.gov/Publications/Pub\\_Master.htm](http://www.psat.wa.gov/Publications/Pub_Master.htm)> Acesso em 20 out. 2004.

MENEGAT, Rualdo *et. al.* **Atlas ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS, 1998. 228p.

NAHB RESEARCH CENTER. **Municipal Guide to Low Impact Development**. Maryland, 2004. Disponível on-line em <<http://www.lowimpactdevelopment.org>> Acesso em 28 jun. 2004.

NATIONAL GUIDE TO SUSTAINABLE MUNICIPAL INFRASTRUCTURE. **Source and On-site Control for Municipal Drainage Systems**. Canadá, 2003. 48 p. Disponível on-line em <<http://www.infraguide.gc.ca>> Acesso em 28 mai. 2004.

NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL. Mimicking nature to solve a water-pollution problem. New York. 2004a. Disponível em <<http://www.nrdc.org>>. Acesso em 30 jun. 2004.

NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL. Stormwater Community responses to runoff pollution. 2004b. Disponível em <<http://www.nrdc.org>> Acesso em 30 jun. 2004.

NEVES, Marllus G.P. das. **Quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana**. 2005. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre. BR-RS, 2005.

NIEMCZYNOWICZ, J. Integrated Water Management Background to Modern Approach with Two Case Examples. In: FIELD, R.; O'SHEA, M.L.; CHIN, K.K. **Integrated Stormwater Management**. Lewis Publishers: Florida, 1993. p.45-57.

NIEMCZYNOWICZ, J. Ways to overcome barriers against application of a 'new technical paradigm' in cities. In: Hydropolis. The role of Water in Urban Planning. International UNESCO-IHP Workshop. (1993, Wageningen and Emscher region). Van Engen, Hans; Kampe, Dietrich; Tjallingii, Sybrand. **Proceedings...** Leiden: Backhuys Publishers, 1995. p.30-41.

PALAZZI, L.; GAGLIANO, R. Reducing Effective Impervious Cover: A Case Study in Residential Construction. In: PUGET SOUND WATER QUALITY

ACTION TEAM. **Low Impact Development in Puget Sound - Innovative Stormwater Management Practices**. Puget Sound, Washington, 2001. Disponível em: < [http://www.psat.wa.gov/Publications/Pub\\_Master.htm](http://www.psat.wa.gov/Publications/Pub_Master.htm) > Acesso em 20 out. 2004.

PEDROSA, V. de A. **O controle da urbanização na macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. [139]f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 1996.

POMPÊO, C.A.. Development of a state policy for sustainable urban drainage. **Urban Water**, v.1, p.155-160. 1999. Disponível on-line em <<http://www.elsevier.com/locate/urbwat>> Acesso em 07 abr. 2004.

POMPÊO, C.A. . Drenagem Urbana Sustentável. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.5, n.1, p.15-23. 2000.

PORTLAND BUREAU OF ENVIRONMENTAL SERVICES. **Stormwater Management Manual**. 2.ed. Portland, 2002. Disponível em: <<http://www.cleanrivers-pdx.org>>. Acesso em 28 jun. 2004.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. **Caderno de Encargos**. Porto Alegre: PMPA, 1996. 10v.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Secretaria de Planejamento Municipal. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental – PDDUA: **Lei Complementar n. 434, de 01 de dezembro de 1999**. Porto Alegre: Câmara Municipal. 1999. 120p.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. 2000. 6v.

PORTO ALEGRE. **Decreto Municipal n. 14185, de 09 de maio de 2003**. Conselho Municipal de Desenvolvimento Urbano Ambiental - CMDUA. Porto Alegre/RS: Prefeitura Municipal, 2003.

PORTO ALEGRE. Departamento de Esgotos Pluviais. 2005. (Site). Disponível on-line em <<http://www.portoalegre.rs.gov.br/dep>> Acesso em 03 abr. 2005.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources. **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach**. Maryland, 1999a. 150p. Disponível em <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>> Acesso em 14 jun. 2004.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources. **Low-Impact Development Hydrologic Analysis**. Maryland, 1999b. 45p. Disponível em <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>> Acesso em 14 jun. 2004.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. Department of Environmental Resources. **Bio-Retention Manual**. Maryland, 2001. Disponível em: <<http://www.goprincegeorgescounty.com>> Acesso em 19 jan. 2005.

PUGET SOUND WATER QUALITY ACTION TEAM. **Low Impact Development in Puget Sound - Innovative Stormwater Management Practices**. Puget Sound, Washington, 2001. Disponível em: <[http://www.psat.wa.gov/Publications/Pub\\_Master.htm](http://www.psat.wa.gov/Publications/Pub_Master.htm)> Acesso em 20 out. 2004.

PUGET SOUND ACTION TEAM. **Natural Approaches to Stormwater Management: Low Impact Development in Puget Sound**. 2003. Disponível on-line em <[http://www.wa.gov/puget\\_sound](http://www.wa.gov/puget_sound)> Acesso em 14 jun. 2004.

PYZOHA, D.S. **Implementing a Stormwater Management Program**. Florida: Lewis Publishers, 1994. 170p.

REGISUL INFORMÁTICA LTDA. **Listagem Discriminada**. Porto Alegre, dez. 2004. 94p.

SARASOTA COUNTY. Department of Planning. **Transfer of Development Rights Ordinance**. Florida, 2004. In: Stormwater Management Resource's Center. (site) 2004. Disponível em <<http://www.stormwatercenter.net>> Acesso em 16 jun. 2004.

SILVEIRA, André L.L. da. **Impactos Hidrológicos da urbanização em Porto Alegre**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (13º: 1999: Belo horizonte, MG). Anais. Belo Horizonte: ABRH, 1999. p.1-11.

SILVEIRA, André L.L. da. Hidrologia urbana no Brasil. In: **Avaliação e controle da drenagem urbana**. TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L. da M. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS: ABRH. 2000. v.1, p.511-525.

SOUZA, R.C., LAGES, E.N., FRAGOSO JUNIOR, C.R.; SOUZA, C.F. Um modelo Numérico Hidrodinâmico Bidimensional no Estudo do Complexo Estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba. Revista Engenharia Civil, Minho, 2005 (No prelo). (Universidade do Minho - Portugal).

SOUZA, C.F., FRAGOSO JÚNIOR, C.R.; GIACOMONI, M.H. Vazão ecológica constante vs. Vazão ecológica variável. In: **Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, VII**, 2004, São Luís. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2004.

TABELAS de Composição de Preços para Orçamentos. 12. ed. São Paulo - SP: Ed. Pini, jan. 2003. 441p.

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 1998. 669f.

TUCCI, C.E.M. Escoamento Superficial. In: TUCCI, C.E.M.. **Hidrologia, ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 2.ed., p.391-441.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 192p.

TUCCI, C.E.M. Inundações e Drenagem Urbana. In: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. p.45-150.

TUCCI, C.E.M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina**, Santiago, 2004. v.1, n.1, p.59-73.

TUCCI, C.E.M.; CORDEIRO NETTO, O. de M. Diretrizes estratégicas para ciência e tecnologia em recursos hídricos no Brasil. **REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina**, Santiago, 2004. v.1, n.1, p.21-35.

UNITED STATES. Department of Defense. **Unified Facilities Criteria (UFC) Design: Low Impact Development Manual**. 2004. Disponível em: <<http://www.ccb.org>>. Acesso em 16 nov. 2004.

U.S. DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT. **The practice of Low Impact Development**. Washington, D.C., 2003. 119 p. Disponível on-line em <<http://www.lowimpactdevelopment.org>> Acesso em 28 jun. 2004.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Low Impact Development (LID): A Literature Review**. Washington D.C., 2000. 35 p. Disponível on-line em <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>> Acesso em 14 jun. 2004.

VICTORINO, V.I.P. Uma visão histórica dos recursos hídricos na cidade de São Paulo. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.7, n.1, p.51-68. 2002.

WATER SENSITIVE URBAN DESIGN. 2004. (Site). Disponível on-line em <<http://www.wsud.org>> Acesso em 28 mar. 2005.

WEINSTEIN, N. LID, A new approach to Stormwater Management. In: **South Carolina Department of Health and Environmental Control**. 2003. Disponível em <[www.lowimpactdevelopment.org](http://www.lowimpactdevelopment.org)>. Acesso em 28 jun. 2004.

ZAIZEN, M.; URAKAWA, T.; MATSUMOTO, Y.; TAKAI, H. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**. v.1, p.355-359. 1999. Disponível em <[www.elsevier.com/locate/urbwat](http://www.elsevier.com/locate/urbwat)> Acesso em 23 jun. 2004.

**ANEXOS**



## **ANEXO A - DETERMINAÇÃO DO EVENTO DE CHUVA DE PROJETO**

O controle por BMPs se baseia em não exceder a taxa de pico de pré-desenvolvimento para eventos de intensidade Tipo II de 2 e 10 anos de tempo de retorno e duração de 24 h, na região de Maryland (nordeste americano), onde se desenvolveu o estudo (Prince George's County, 1999a). A quantidade de chuva utilizada para determinar o escoamento no lote se deriva do Artigo Técnico 40 (Department of Commerce, 1963 *apud* Prince George's County, 1999a). O evento de chuva de 2 anos foi selecionado para proteger canais receptores quanto à sedimentação e erosão. O evento de 10 anos, para adequar considerações de condutância de fluxo. Em situações onde há potencial para inundações, o evento de 100 anos é utilizado.

O critério utilizado para seleção de evento de projeto para LID se baseia na meta de manutenção das condições hidrológicas de pré-desenvolvimento para o lote. A determinação se inicia com a estimativa das condições naturais. A abordagem hidrológica de LID consiste em reter a mesma quantidade de chuva no lote que a paisagem natural, em boas condições, reteria e gradualmente liberar o excesso de escoamento como seria feito naturalmente. Desta forma, pode-se simular, ao máximo praticável, o regime hidrológico de pré-desenvolvimento para proteger a bacia e os

habitats naturais. Portanto, as condições de pré-desenvolvimento de LID requeridas seriam as naturais, *e.g.*, florestas, em boas condições.

O CN para condição de pré-desenvolvimento deve ser determinado com base na cobertura do solo e no grupo hidrológico de solo existente. A chuva de projeto deve ser tão grande quanto necessária para que em condições naturais comece a existir escoamento direto, com a multiplicação de um fator modificador, ou o evento de 1 ano e 24 h. A chuva para a qual escoamento direto se inicia é determinada pela (Equação 2). A quantidade inicial para condições naturais é modificada pela multiplicação desta por um fator de 1,5 para reproduzir a taxa de liberação mais lenta do escoamento sob estas condições.

$$P = 0,2 \times \left( \frac{1000}{CN_c} - 10 \right) \quad \text{(Equação 2)}$$

onde P é a chuva que inicia o escoamento direto e CN<sub>c</sub> o CN de pré-desenvolvimento.

Deve ser ressaltado que esta suposição necessitará ser ajustada para comunidades com diferentes condições climáticas da região nordeste americana (Maryland), *e.g.*, a região sul brasileira.

Portanto, um processo de três etapas é utilizado para determinação da chuva de projeto: (a) Determinação do CN de pré-desenvolvimento; (b) Determinação da quantidade de chuva necessária para iniciar o escoamento direto; (c) Contabilizar a variação na cobertura do solo pela utilização de um fator.

**ANEXO B –AUTORIZAÇÃO A DESVIOS DA LEGISLAÇÃO PARA  
EMPREGO DE LID –CIDADE DE ISSAQUAH**

Descrição – O código municipal delega ao diretor de obras públicas o poder de autorizar desvios nos padrões de projeto para atingir “desenvolvimentos de pouca área impermeável”. O diretor também tem a opção de requerer avaliação e monitoramento de elementos de projeto.

Autorizações para desvios dos padrões de projeto devem estar baseadas nos seguintes critérios. A norma especifica:

1. Os desvios produzirão uma compensação ou resultado comparável no controle e tratamento de interesse público;
2. Os desvios contribuem e são consistentes com a meta de atingir áreas impermeáveis de superfície de baixa efetividade dentro do desenvolvimento;
3. O projeto de desenvolvimento proposto oferece segurança razoável que poucas áreas impermeáveis serão atingidas e mantidas;
4. Os desvios não ameacem a saúde ou segurança pública;

5. Os desvios são consistentes com a engenharia e práticas de projeto geralmente aprovados;

6. Os desvios promovem um ou mais dos seguintes: a) Projeto inovador de moradia ou da área; b) aumento de retenção de águas pluviais no local por utilização de vegetação nativa; c) retenção de pelo menos 60% das condições de vegetação natural sobre a área; d) melhoria da qualidade da água na área acima do requerido pelas aplicáveis regulamentações correntes; e) retenção ou re-criação de condições hidrológicas de pré-desenvolvimento e/ou naturais ao máximo possível; f) redução ao máximo praticável de superfícies impermeáveis efetivas;

7. Os desvios não permitem densidade maior que o que seria de outra forma permitido sob regulamentações da cidade em efeito;

8. Os desvios não apresentam requerimentos significativamente maiores de manutenção dos dispositivos que serão eventualmente transferidos ao poder público;

9. Deve ser submetido em conjunção com cada projeto, convênio deste, condições e restrições que serão amarrados à propriedade, cabendo ao diretor requerer toda facilidade de proteção necessária à vegetação nativa, restrições de áreas impermeáveis e outras características críticas.

**ANEXO C – ESTABELECIMENTO DE PADRÕES DE PROJETO DE LID -  
CONDADO ISLAND**

Descrição – A regulamentação de águas pluviais e superficiais do condado Island providencia requerimentos especiais de desempenho que devem ser atingidas por empreendedores para seus propósitos de qualificação como LID. O código específica:

a. **Controle de volume do escoamento.** O volume de pré-desenvolvimento é mantido por uma combinação de minimização de distúrbios à área e provimento de retenções distribuídas. Uma estimativa do CN “fabricado” ou não é requerida para determinar o volume de escoamento requerido. O armazenamento requerido para manter o volume de pré-desenvolvimento pode ser suficiente para manter a descarga de pico natural.

b. **Controle de descarga de pico do escoamento.** LID é projetado para manter a descarga de pico natural para os eventos de projeto. Esta meta é atingida mantendo o  $T_c$  natural e utilizando retenções e/ou detenções distribuídas ao longo da área. O procedimento deve ser fazer uso de práticas de retenção para controle de volume e, caso estas não sejam suficientes, utilizar detenções adicionais para controlar a descarga de pico.

c. **Controle de duração e frequência.** Partindo do controle de volume e pico, a frequência e a duração para o pós-desenvolvimento serão quase idênticas aos de condições naturais. Os impactos potenciais nos habitats de rios e na erosão e sedimentação a jusante podem, portanto, ser minimizados.

d. **Controle de Qualidade de Água.** LID é projetado para providenciar tratamento de controle de qualidade para os escoamentos de áreas impermeáveis utilizando práticas de retenção. O armazenamento requerido para controlar a qualidade é comparado ao armazenamento requerido para controle do aumento de volume. O maior dos dois volumes passa a ser o armazenamento de retenção requerido. LID também providencia prevenção de poluição pela modificação de atividades humanas para a redução da introdução de poluentes no ambiente.

**ANEXO D – DETALHAMENTO DA AVALIAÇÃO FINANCEIRA**

## ANEXO D1 – COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS E CUSTOS UNITÁRIOS

Valores (R\$) de Fevereiro de 2005							
Serviço							
<b>Tubo de 200 mm Conc.</b>		m					
Fonte	Componentes	unid.	Coef.	P.Unit.	Tot. Mat.	Tot. M.O.	Tot. Geral
2	Cim. Portland Pozolâmico 320	kg	1	0,43	0,43		
2	Areia Média	m3	0,003	24,90	0,07		
3	Tubo C-2 PB 200 mm	m	1,02	11,00	11,22		
2	Pedreiro	h	0,42	2,83		1,19	
2	Servente	h	0,22	1,92		0,42	
	Encargos Sociais	%	175,57			2,83	
					11,72	4,44	16,17
<b>Rua Pavimentada</b>		m2					
Fonte	Componentes	unid.	Coef.	P.Unit.	Tot. Mat.	Tot. M.O.	Tot. Geral
4	Arruamento com Sub. por Tubo de 300 mm	m2	1	57,55	57,55		
4	Escavação Mecanizada	m3	0,51	-6,02	-3,09		
4	Reaterro	m3	0,51	-26,47	-13,58		
2	Tubo de 300 mm	m	1	-21,36	-21,36		
					19,53	0,00	19,53
<b>Plantio de grama Batatais</b>		m2					
Fonte	Componentes	unid.	Coef.	P.Unit.	Tot. Mat.	Tot. M.O.	Tot. Geral
2	Jardineiro	h	0,08	1,92		0,15	
2	Servente	h	0,08	1,92		0,15	
3	Fosfato de rochas	kg	0,1	0,50	0,05		
1	Grama batatais	m2	1	5,26	5,26		
3	Adubo mineral 10-10-10 NPK	kg	0,1	0,73	0,07		
1	Adubo orgânico - esterco	m3	0,005	74,31	0,37		
3	Calcário dolomítico	kg	0,15	0,14	0,02		
	Encargos Sociais	%	175,57			0,54	
					5,77	0,85	6,62
<b>Preparo do Solo</b>		m3					
Fonte	Componentes	unid.	Coef.	P.Unit.	Tot. Mat.	Tot. M.O.	Tot. Geral
2	Servente	h	1,60	1,92		3,08	
1	Terra preta	m3	0,90	57,16	51,45		
3	Adubo mineral 10-10-10 NPK	kg	1,00	0,73	0,73		
1	Adubo orgânico - esterco	m3	0,10	74,31	7,43		
3	Calcário dolomítico	kg	1,00	0,14	0,14		
	Encargos Sociais	%	175,57			5,41	
					59,75	8,48	68,23
<b>Despraguejamento grama</b>		m2					
Fonte	Componentes	unid.	Coef.	P.Unit.	Tot. Mat.	Tot. M.O.	Tot. Geral
2	Servente	h	0,005	1,92		0,01	
	Encargos Sociais	%	175,57			0,02	
					0,00	0,03	0,03
<b>Irrigação (1/semana)</b>		ha.					
Fonte	Componentes	unid.	Coef.	P.Unit.	Tot. Mat.	Tot. M.O.	Tot. Geral
2	Servente	h	100	1,92		192,41	
3	Água	m3	300	0,74	222,00		
	Encargos Sociais	%	175,57			337,82	
					222,00	530,23	752,23

Obs.: Composição obtida de Tabelas (2003). Fonte:(1) – Construção Mercado (2004); (2) – Regisul Informática Ltda (2004); (3) – Consulta local; (4) – Cruz (2004a).



## ANEXO D2 – ORÇAMENTO POR CENÁRIO

Valores (R\$) de Fevereiro de 2005										
Fonte	Serviço	P. Unit.	Unid.	Qtde	Cenário II	Custo	Cenário III	Custo	Cenário IV	Custo
	<b>Rua Pavimentada</b>	m2		m2						
		19,53			2898,38	56601,20	2898,38	56601,20	2337,61	45650,23
2	<b>Piso Cimentado</b>	m2		m2						
	Traço 1:3, espessura = 2,5 cm	13,29			2308,61	30676,39	2308,61	30676,39	106,00	1408,51
	<b>Plantio de grama Batatais</b>	m2		m2						
		6,62			668,00	4424,24	668,00	4424,24	1292,38	8559,56
2	<b>Poços de visita</b>	un.		un.						
	80x80x200	853,21			7,00	5972,44	7,00	5972,44	0,00	0,00
2	<b>Tampa de Concreto para PV</b>	un.		un.						
	124x124x12	96,05			7,00	672,34	7,00	672,34	0,00	0,00
2	<b>Boca-de-Jobo</b>	un.		un.						
		300,71			24,00	7216,99	24,00	7216,99	0,00	0,00
2	<b>Escavação Manual</b>	m3		m3						
	Profundidade de até 2 m	18,56			0,00	0,00	862,33	16006,69	765,59	14211,13
2	<b>Tubo de 100 mm PVC</b>	m		m						
		16,34			146,00	2386,19	146,00	2386,19	0,00	0,00
	<b>Tubo de 200 mm Conc.</b>	m		m						
		16,17			81,25	1313,51	71,00	1147,81	0,00	0,00
2	<b>Tubo de 300 mm Conc.</b>	m		m						
		21,36			180,00	3844,41	180,00	3844,41	0,00	0,00
2	<b>Tubo de 400 mm Conc.</b>	m		m						
		28,68			45,00	1290,64	6,50	186,43	0,00	0,00
2	<b>Tubo de 500 mm Conc.</b>	m		m						
		37,38			27,50	1028,08	31,00	1158,93	0,00	0,00
2	<b>Meio-fio Curva</b>	m		m						
		28,44			234,76	6677,40	234,76	6677,40	0,00	0,00
2	<b>Meio-fio reta</b>	m		m						
	100x30x15	20,06			711,07	14261,32	711,07	14261,32	0,00	0,00
	<b>Preparo do Solo</b>	m3		m3						
		68,23			0,00	0,00	0,00	0,00	507,25	34611,48
	<b>Despraguejamento grama</b>	m2		m2						
		0,03			668,00	17,71	668,00	17,71	1292,38	34,26
	<b>Irrigação</b>	ha.		m2						
		3223,86			668,00	215,35	668,00	215,35	1292,38	416,64
2	<b>Limpeza de Piso Cimentado</b>	m2		m2						
		0,52			2308,61	1210,68	2308,61	1210,68	106,00	55,59

Fonte: (1) – Construção Mercado (2004); (2) – Regisul Informática Ltda (2004); (3) – Consulta local; (4) – Cruz (2004a).

### TAXAS UTILIZADAS PARA REAJUSTE DE PREÇOS.

IGP	Data	Taxa	Fonte
286,82	abr/03	1,143	Construção Mercado (2004)
284,9	mai/03	1,151	Cruz (2004a)
289,72	nov/03	1,132	Regisul Informática Ltda
327,92	jan/05	1	Consulta local

Fonte: Fundação Getúlio Vargas (2005)