ALESSANDRO MENDES RIBEIRO

**BMP'S EM DRENAGEM URBANA – APLICABILIDADE EM
CIDADES BRASILEIRAS**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

São Paulo

2014

ALESSANDRO MENDES RIBEIRO

**BMP'S EM DRENAGEM URBANA – APLICABILIDADE EM
CIDADES BRASILEIRAS**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

**Área de Concentração: Engenharia
Hidráulica e Ambiental**

**Orientador: Prof. Dr. Podalyro
Amaral de Souza**

**São Paulo
2014**

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 24 de setembro de 2014.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catálogo-na-publicação

Ribeiro, Alessandro Mendes

**BMP's em drenagem urbana: aplicabilidade em cidades brasileiras / A.M. Ribeiro. -- versão corr. -- São Paulo, 2014.
104 p.**

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

1.Drenagem urbana 2.Recursos hídricos 3.Urbanização I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental II.t.

*Dedico este trabalho à minha esposa
Regina e às minhas filhas Maria
Eduarda e Laura. Vocês são a melhor
parte de mim!*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Professor Doutor Podalyro Amaral de Souza pelo socorro, no primeiro momento, quando da necessidade de troca de orientador e posteriormente pela paciência, experiência profissional e de vida e por ter me mostrado a realidade quando de meus devaneios, me orientando e me tranquilizando quando tudo parecia perdido. O senhor é uma pessoa rara que possui todo o meu respeito e admiração e sou grato por tê-lo ao lado nesta jornada.

Ao Professor Doutor José Rodolfo Scarati Martins um agradecimento especial por ter me acolhido no ingresso ao programa, ter me apresentado este tema e, com sabedoria, conhecimento técnico indiscutível e comentários valiosos, principalmente na minha qualificação, por ter me conduzido até aqui.

Ao Corpo Diretivo da LENC em nome dos Eng^o Alexandre Zuppolini, Paulo Serra e Dr. Douglas Villibor agradeço a oportunidade, consideração e respeito.

À Eng^a Débora Nogueira Targas, pelo convite para me juntar a esta família e por confiar em minha capacidade lhe sou muito grato.

À toda a equipe de projetos da LENC, em especial a Andréia Marchionno Felipe, Erika Gushiken e Marta Ligabue Lopes Ribeiro pela arte do presente trabalho e para aqueles que diariamente e diretamente convivem comigo e que foram tão importantes nesta jornada: André Luiz Portezan Aparecido, Erika e Marta citadas acima, Petronio Viana Torres, Rafael Galdino da Silva e José Gilberto Braud Sanchez Filho. Sou um homem de sorte por tê-los como parte da equipe.

Ao Eng^o Giulio Scapinelli, um mentor e grande amigo, me apoiando e me auxiliando durante minha formação profissional e até hoje. São poucas palavras mas difícil é minha tarefa em descrever o quanto lhe sou grato.

Aos meus queridos professores Paulo Nakayama e Noboru Minei pelos conselhos, paciência, formação e pela amizade e orientação lhes agradeço muito.

Ao Eng^o Rodrigo Eduardo Dias Verroni por todo o suporte, material, trocas de experiências e pelo convívio que acabou por transformar-se em uma grande amizade.

A Eng^a Solange Moreira Pollan (DERSA) e a Eng^a Maria Beatriz da Silva Nunes (DERSA), Eng^a Sonia Regina Morgado (PRON) pela parceria, orientação e compreensão demonstrados e pela serenidade na resolução dos problemas mais complexos. Aprendi muito com vocês e sei que ainda tenho muito a aprender.

À todos os meus colegas da Escola Politécnica, principalmente Marcos Gaia, Daniela Mendes Rossi, João Tercini, Carla Voltarelli, Erika Tominaga, Frederico Vilhena e todos os outros que me auxiliaram e a Srta. Wandréa Dantas por todo o suporte e auxílio ao longo do caminho.

Aos meus pais, agradecer é pouco. Me tornei engenheiro pois tive em meu pai sempre a inspiração, a dedicação e o amor com que ele conduziu sua vida profissional. Pelo exemplo como homem, pai, profissional, cidadão e amigo. À minha mãe pela mulher de fibra, guerreira, firme, generosa, amorosa e sábia. Por toda a sua dedicação, amor à família, rigor quando necessário e por ser sempre presente em nossas vidas. Não existe melhor forma de educar senão com exemplo. Espero ser merecedor de todo o amor dedicado e ser tão bom pai quanto foram para mim e meus irmãos, pois exemplos não nos faltaram.

Aos meus irmãos Ary Júnior, Simone, Ana Paula e Magno e meus sobrinhos Yuri, Yeda, João Guilherme, Luiza e minha cunhada Tânia por acreditarem em mim e por me aceitarem como sou, com todos os defeitos e limitações.

Ao Sr. José Ademar, Sra. Mercedes, Luis Fernando, Ana Flávia e Luis Felipe, minha nova família, por me apoiarem e por permitirem que levasse parte de seu tesouro. Sou grato por fazer parte da família Varotto.

À minha esposa, Regina, que acreditou, apoiou e me incentivou durante esta jornada tão conturbada. Sem o seu apoio chegar até aqui não seria possível. Por me proporcionar conhecer o significado de desprendimento, doação total e amor incondicional quando trouxe ao mundo nossa maior riqueza, nossas filhas Maria Eduarda e Laura.

Por fim, agradeço a todos os que aqui foram citados pois como disse Isaac Newton: “- Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes”.

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano”.

(Isaac Newton)

RESUMO

A ocupação desordenada e o grande percentual de superfície impermeabilizada em áreas urbanas, agravando os eventos extremos, é um dos problemas mais discutidos no meio técnico nacional e internacional. O conceito utilizado para projeto de drenagem urbana convencional, desta forma, tornou-se um tanto obsoleto nos dias de hoje, pois além dos problemas relativos aos picos elevados das tormentas, culminando em enchentes, principalmente nos grandes centros urbanos, há que se observar os aspectos de qualidade das águas pluviais. Neste sentido, começou-se a desenvolver na década de 1980 o conceito dos chamados BMP, do inglês, “*Best Management Practices*”, que consiste em técnicas que visam não somente o abatimento dos picos de eventos extremos como também a melhoria na qualidade da água precipitada com um enfoque mais ambiental. Procurou-se apresentar, ao longo do trabalho, o estágio de desenvolvimento dessas técnicas em vários países e a equalização das diversas terminologias utilizadas com o intuito de tornar estas ferramentas mais acessíveis ao meio técnico nacional, visando auxiliar no processo de mudança cultural brasileira. Analisou-se também a aplicabilidade dessas técnicas em um projeto real de drenagem urbana desenvolvido para a Prefeitura de São Paulo, na região do Butantã – Zona Oeste, verificando-se a possibilidade de redução do sistema convencional ou sua eliminação com base nas informações técnicas elencadas.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Recursos Hídricos. Urbanização.

ABSTRACT

Unregulated occupation and the growing proportion of non-porous, covered urban surface area as aggravating factors in the effects of extreme weather events is one of the most talked about problems in national (Brazilian) and international technical circles. This factor has rendered the conventional methods historically applied when planning urban stormwater drainage somewhat obsolete because, in addition to the flash floods caused by intense downpours and storms in large metropolitan centers, the quality of the stormwater itself is deteriorating. To combat these effects, the initial foundations of the BMP (Best Management Practices) were laid down in the 1980's to develop methods to not only diminish the effects of extreme events but also to improve the quality of the water deposited by focusing on environmentally friendly urban planning. In this study, an attempt has been made to illustrate the developmental stage of these methods in several countries and to standardized the different technical terms used so that such tools become more accessible to the relevant Brazilian technical field and thereby further the respective process of cultural change in Brazil. It has also been analyzed how these methods could be applied to an actual urban drainage plan developed for the São Paulo City Hall implemented in the Butantã district in the city's 'Western Zone' by assessing the possibility of reducing the conventional system or even eliminating it, based on the technical information studied.

Keywords: Urban Drainage. Water Resources. Urbanization.

Índice de Ilustrações

Figura 1. Sistema de Esgotamento Sanitário na Roma Antiga (Cloaca Maxima).....	19
Figura 2. Piscinão do Córrego Caguaçu - Assoreado em 2000	24
Figura 3. Poluição Difusa	26
Figura 4. Diagrama Esquemático de Fontes de Poluição em Áreas Urbanas.....	27
Figura 5. O Ciclo Hidrológico.....	30
Figura 6. Diagrama das BMP's pela EPA.....	32
Figura 7. Estrutura da Pensilvânia	33
Figura 8. Estrutura da Carolina do Norte.....	33
Figura 9. Estrutura DENVER.....	34
Figura 10. Estrutura Canadense	34
Figura 11. SUDS - Estrutura Geral.....	36
Figura 12. Ciclo das Águas - WSUD	38
Figura 13. Estrutura Básica das Técnicas - Nova Zelândia.....	39
Figura 14. Técnicas Compensatórias – Cenário Nacional	40
Figura 15. Talude com processo erosivo em andamento.....	51
Figura 16. Implantação de Conjunto Habitacional com grande movimento de terra .	51
Figura 17. Implantação de Condomínio de Alto Padrão	51
Figura 18. Exemplo de loteamento com bom aproveitamento das condições locais	52
Figura 19. Córrego totalmente assoreado	54
Figura 20. Processo erosivo registrado em Bauru (SP)	54
Figura 21. Grafitação de Bocas de Lobo.....	58
Figura 22. Descarte irregular de resíduos em curso d'água.....	63
Figura 23. Controle na Fonte.....	72
Figura 24. Cisterna Enterrada	73

Figura 25. Microrreservatório	74
Figura 26. Pavimento Permeável	74
Figura 27. Poço de Infiltração.....	75
Figura 28. Poço de Infiltração.....	75
Figura 29. Telhados Verdes (Seção).....	76
Figura 30. Telhados Verdes (Burnley Green Roof - Implantação).....	76
Figura 31. Telhados Verdes (Centro de São Paulo - Exemplo).....	77
Figura 32. Croqui esquemático de um Alagadiço (<i>Wetland</i>)	78
Figura 33. Tipos de Alagadiços	79
Figura 34. Alagadiços (<i>Wetlands</i>)	79
Figura 35. Bacia de Detenção (Planta e Corte).....	81
Figura 36. Bacia de Retenção (Planta e Corte).....	82
Figura 37. Bacia de Infiltração	83
Figura 38. Canal Gramado	84
Figura 39. Canal Gramado Alagadiço com Barramento	85
Figura 40. Faixa Gramada.....	85
Figura 41. Jardim de Chuva	86
Figura 42. Delimitação da Bacia de Projeto	89
Figura 43. Hidrologia - Divisão das Sub-bacias - Projeto Original.....	92
Figura 44. Proposta de Utilização de Técnicas Compensatórias	94
Figura 45. Vista do canteiro central da Av. Valdemar Ferreira	99
Figura 46. Vista do Jardim de Chuva ao longo da Av. Valdemar Ferreira.....	100

Índice de Tabelas

Tabela 1. Relação dos Reservatórios de Controle de Cheias na cidade de São Paulo (Piscinões).....	23
Tabela 2. Quadro de Apresentação das Medidas Não Estruturais.....	45
Tabela 3. Divisão Proposta das Medidas Não Estruturais	48
Tabela 4. Percentual de Remoção de Poluentes	67
Tabela 5. Apresentação das Medidas Estruturais por diversos autores.....	71
Tabela 6. Coeficiente de Escoamento Superficial (C)	90
Tabela 7. Características Fisiográficas das Sub-bacias - Projeto Original	93
Tabela 8. Cálculo das Vazões de Projeto	93
Tabela 9. Áreas utilizadas pelas Técnicas Compensatórias	94
Tabela 10. Determinação do Coeficiente de Escoamento Superficial.....	95
Tabela 11. Vazões - Jardim de Chuva	96
Tabela 12. Vazões – Pavimento Permeável	96
Tabela 13. Vazões - Telhado Verde.....	96
Tabela 14. Vazões - Técnicas Combinadas.....	97
Tabela 15. Quadro Geral de Vazões.....	97

Lista de Abreviaturas

Abreviaturas	Descrição
ANA	Agência Nacional de Águas
ASCE	American Society of Civil Engineers
AWRA	American Water Resources Association
BMP	Best Management Practices
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIRIA	Construction Industry Research and Information Association (United Kingdom)
CRCWSC	Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities
CWA	Clean Water Act
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEP	Department of Environmental Protection - Pennsylvania
EPA (USA)	Environmental Protection Agency (EUA)
ESI	Engineersand Surveyors Institute
EUA	Estados Unidos da América
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
GCWWE	Geosyntec Consultants Wright Water Engineers, Inc.
GVS&DD	Greater Vancouver Sewerage and Drainage District
hab	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDS	Índice de Desenvolvimento Sustentável
IQA	Índice de Qualidade das Águas

LENC	Laboratório de Engenharia e Consultoria Ltda.
LID	Low Impact Development
MDE	Maryland Department of the Environment
MPCA	Minnesota Pollution Control Agency
NCDENR	North Carolina Department of Environment and Natural Resources
n.d.	Não Determinado
NPDES	National Pollutant Discharge Elimination System
NPS	Non-point Source
NVPDC	Northern Virginia Planning District Commission
NVRC	Northern Virginia Regional Commission
NZWERF	New Zealand Water Environment Research Foundation
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
POLI	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
SEPA	Scottish Environment Protection Agency
SIURB	Secretaria de Infraestrutura Urbana
SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - PMSP
SUDS	Sustainable Urban Drainage System
SVP	Secretaria de Vias Públicas (Atual SIURB)
TCC	Townsville City Council (Australia)
UDFCD	Urban Drainage and Flood Control District
WERF	Water Environment Resources Foundation
WPDLA	Watershed Protection Division - Los Angeles
WSUD	Water Sensitive Urban Design

Sumário

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS GERAIS.....	21
2.1	Objetivos Específicos.....	21
3	ASPECTOS URBANOS DE MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS	22
3.1	Cenário Atual	22
3.2	Poluição Difusa	25
4	A INTRODUÇÃO DE NOVAS TÉCNICAS	28
4.1	Visão Geral	28
4.2	A Origem das Melhores Práticas.....	29
4.3	A Experiência dos Estados Unidos e Canadá.....	31
4.4	A Experiência do Reino Unido	35
4.5	O conceito introduzido pela Austrália.....	37
4.6	O conceito da Nova Zelândia.....	38
4.7	O cenário nacional	39
5	TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA - DEFINIÇÃO	41
5.1	Medidas Não Estruturais.....	42
5.1.1	Prevenção à Poluição.....	49
5.1.1.1	Gerenciamento de Uso do Solo Urbano e Políticas Públicas.....	49
5.1.1.1.1	Controle de Uso do Solo.....	49
5.1.1.1.2	Controle de Erosão	50
5.1.1.1.3	Controle de Sedimentos	53
5.1.1.1.4	Proteção aos Cursos D'água	55
5.1.1.1.5	Estratégias de Paisagismo	55
5.1.1.1.6	Reflorestamento Urbano e Restauração das Matas Ciliares	55
5.1.1.1.7	Balanço Hídrico de Terceira Geração.....	55
5.1.1.1.8	IPTU Hidrológico.....	57

5.1.1.2	Educação da População e Medidas Voluntárias	58
5.1.1.2.1	Educação da População	58
5.1.1.2.2	Grafitagem de Bocas de Lobo	58
5.1.1.2.3	Controle de Resíduos Animais	59
5.1.1.2.4	Educação e Cuidados com Áreas Verdes e Gramados.....	59
5.1.1.2.5	Redução da Geração de Resíduos Gerados por Automóveis ...	60
5.1.1.3	Gerenciamento de Plantas Industriais	60
5.1.1.3.1	Uso de Pesticidas, Herbicidas e Fertilizantes	60
5.1.1.3.2	Minimização de Resíduos – Controle na fonte	61
5.1.1.3.3	Organização e Limpeza	61
5.1.1.3.4	Manutenção Preventiva	61
5.1.1.3.5	Prevenção ao Vazamento e Planos de Emergência.....	61
5.1.2	Medidas de Controle.....	62
5.1.2.1	Varrição de Ruas	62
5.1.2.2	Controle de Ligações Clandestinas.....	62
5.1.2.3	Controle de Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos.....	63
5.1.3	Medidas Mitigadoras.....	64
5.1.3.1	Construção à Prova de Enchente	64
5.1.3.2	Sistema de Previsão e Alerta	65
5.1.3.3	Zoneamento de Áreas Inundáveis	66
5.1.3.4	Seguro de Inundação	66
5.2	Medidas Estruturais	66
5.2.1	Controle na Fonte	71
5.2.1.1	Cisternas	72
5.2.1.2	Microrreservatório	73
5.2.1.3	Pavimentos Permeáveis ou Reservatório	74
5.2.1.4	Poços de Infiltração.....	75

5.2.1.5	Telhados Verdes	76
5.2.2	Controle Centralizado	77
5.2.2.1	Alagadiços.....	77
5.2.2.2	Bacias de Detenção	80
5.2.2.3	Bacias de Retenção	81
5.2.2.4	Bacias de Infiltração	82
5.2.3	Controle Linear	83
5.2.3.1	Canais e Valetas Vegetadas	84
5.2.3.2	Faixa Gramada	85
5.2.3.3	Filtro de Areia.....	86
5.2.3.4	Jardim de Chuva	86
5.2.3.5	Trincheiras de Infiltração e Detenção.....	87
6	MATERIAIS E MÉTODOS	88
6.1	Dados e Critérios de Projeto	88
6.2	Localização da Área.....	89
6.3	Critérios e Parâmetros	89
6.3.1	Intensidade Pluviométrica.....	89
6.3.2	Método Racional.....	90
6.3.3	Período de Retorno	91
6.3.4	Tempo de Concentração	91
6.4	Resultados do Projeto Original	92
7	ESTUDO DE CASO	94
7.1	Escolha das Técnicas Compensatórias	94
7.2	Determinação das Vazões do Estudo	95
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	98
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

1 INTRODUÇÃO

Historicamente o homem sempre ocupou as várzeas dos rios, tanto pelas condições de relevo mais brando, pelas condições de solo para agricultura com terrenos mais férteis, como também para captação de água, tudo para sua subsistência.

As primeiras civilizações de que se tem conhecimento surgiram como tribos nômades e, para que fosse possível sua sobrevivência, buscavam áreas com água em abundância (várzeas) que conseqüentemente também possuíam terra fértil para plantio, criação de animais e permitindo que não fosse necessário o deslocamento contínuo. Como exemplo, pode-se citar a região da Mesopotâmia que em grego significa “entre dois rios” (Rio Tigre e Eufrates) e, nesta região, que atualmente é conhecida como Iraque, foi em seu passado habitada por Sumérios, Acádios, Babilônios, Assírios e Caldeus.

Com o desenvolvimento da sociedade, o homem “moderno” passou a ocupar as várzeas dos rios, já não mais para subsistência mas principalmente pelas condições topográficas que lhe permitem a implantação de sistemas viários ou pela simples facilidade no lançamento de seus dejetos, sem tratamento adequado.

A simples existência dos seres humanos já implica na geração de resíduos sejam eles pela sua simples respiração ou pelas necessidades fisiológicas, embora ambos mais facilmente contornáveis do que os resíduos advindos com a industrialização, pois passou-se a gerar resíduos quimicamente mais complexos, de difícil absorção e/ou decomposição pela natureza.

Na Roma antiga haviam sido criados sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário que foram descritos por um engenheiro militar romano chamado Sextus Julius Frontinus (36 a 104 DC) no ano 97 DC. O militar estimava a população atendida em 1.200.000 hab. e, além do sistema de abastecimento de água, já contava com o sistema de coleta e afastamento dos dejetos até o lançamento no Rio Tiber através de uma galeria chamada “Cloaca Maxima” (Figura 1).

Figura 1. Sistema de Esgotamento Sanitário na Roma Antiga (Cloaca Maxima)

Fonte: <http://www.thehistoryblog.com/archives/21511>.

Acesso: 28/01/2014 às 00:18

Vale ressaltar ainda que estas galerias serviam inclusive para o escoamento das águas pluviais e certamente as condições de uso e ocupação do solo eram bem distintas das atuais mas já havia a preocupação com o saneamento desde o início do milênio passado.

BOTELHO (1985) já comentava que a urbanização e o loteamento de uma área significa a retirada considerável de vegetação, abertura de sistema viário e grandes obras de terraplenagem, bem como uma ocupação populacional adensada que implica em início de processos erosivos, redução do tempo de pico das tormentas e carreamento de material para os cursos d'água, com consequente assoreamento.

Desta forma, identifica-se um descuido e/ou falta de planejamento por parte da sociedade moderna em seu desenvolvimento, pois os problemas já eram apontados e, dentro das possibilidades, sanados à época.

Observa-se o agravamento da situação com o passar dos anos, onde a população de baixa renda somente consegue se manter inserida nos centros urbanos morando em favelas ou cortiços, caso contrário, resta-lhe a ocupação das zonas periféricas destes grandes centros. De acordo com último Censo Demográfico de 2010, houve uma taxa de crescimento nestas áreas de até 8%, passando a abrigar cerca de 30%

da população total. A grande preocupação neste sentido é que esta ocupação das zonas periféricas se dá por loteamentos regulares mas com grandes frentes de terraplenagem, sem qualquer cuidado, ou por invasões, principalmente em terrenos com declividade acentuada ou fundos de vale. Qualquer uma das situações levam à erosão, carreamento de materiais com assoreamento dos cursos d'água e, nas invasões de encostas, escorregamentos e potencial risco de perdas de vidas (SANTOS, A. R., 2012).

Para se ter um quadro mais acurado é necessário o uso de indicadores e índices que podem apontar as deficiências mais evidentes. Com este intuito, apresenta-se o Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS) apresentado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de forma bienal, tendo início no ano de 2002. O índice é baseado em 20 indicadores que avaliam diretamente a qualidade do ar, terra e águas. As águas são analisadas através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e, através da análise dos indicadores, há um alto índice de DBO e pequeno de Índice de Qualidade da Água (IQA), ou seja, grande porção de matéria orgânica e qualidade da água muito baixa, principalmente nos rios próximos aos grandes centros urbanos, tal como o Rio Tietê. Outro ponto importante a ser observado, e que é um dos grandes responsáveis pela qualidade das águas, é o acesso da população às redes de água, esgoto e coleta de resíduos sólidos. Se, por um lado, o Estado de São Paulo figura entre os que mais atendem a população com redes de água e esgotamento sanitário, acima de 90% nos dois itens, ainda sofre com o tratamento dos efluentes e o índice cai para próximo de 50% de seus municípios.

O processo de urbanização não planejado e tecnicamente inadequado, embora já se tenha conhecimento dos problemas há muito, como descritos, é um dos grandes desafios para a gestão das águas pluviais, principalmente nos grandes centros.

Se de um lado existem atualmente tecnologias para a redução dos picos de vazões, de minimização dos impactos dos resíduos carreados, e da toxicidade do volume escoado, há a limitação político-burocrática e a falta de locais para a implantação das medidas necessárias à melhoria da qualidade da água. Neste ponto, ressalta-se que a essência da gestão do escoamento superficial consiste na percepção de que trata-se de um problema de alocação de espaço (CANHOLI, 2005; SHEAFFER et al., 1982).

2 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo principal do presente trabalho é o de coletar informações das diversas tecnologias desenvolvidas, utilizadas mais amplamente em outros países, para o controle da poluição difusa e do abatimento das ondas de cheias conhecidas por BMP's ou SUDS e aqui conhecidas como Técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana, sistematizando os dados de forma a torná-los acessíveis e permitindo uma visão ampla sobre as técnicas já consolidadas.

Tem-se por objetivo secundário verificar a aplicabilidade de alguns destes dispositivos com a realidade de nosso país, analisando suas limitações e outras características que possam auxiliar no processo decisório de escolha dos mesmos, visando à disseminação desta prática de sustentabilidade em ambientes urbanos.

2.1 Objetivos Específicos

Com base nas diversas publicações será proposta uma sistematização das diversas técnicas, visando equacionar a nomenclatura destas e auxiliar a difusão destes conceitos no meio técnico.

Será analisada uma bacia com projeto de drenagem urbana desenvolvido e implantado e, através da utilização das técnicas compensatórias, será analisada a viabilidade e/ou melhoria do sistema de drenagem urbana clássico.

3 ASPECTOS URBANOS DE MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS

3.1 Cenário Atual

A drenagem urbana clássica ou higienista tem por premissa captar as águas pluviais e encaminhá-las o mais rapidamente possível para o corpo d'água receptor. Isso é um grande problema, de maneira geral, principalmente nos grandes centros urbanos.

O grande volume precipitado e o grau de impermeabilização das metrópoles resulta em elevados volumes de água concentrados nos rios em curto espaço de tempo, ocasionando enchentes e trazendo outras consequências desagradáveis e prejuízos consideráveis, pondo os habitantes em risco de contaminação e/ou morte.

Como apontado anteriormente, o problema de gestão reflete-se na falta de espaços para a implantação dos dispositivos necessários à redução da carga poluidora e do abatimento das ondas de cheias e se deve à falta de planejamento adequado, a médio e longo prazo, agravando os problemas e aumentando o desafio técnico e os custos a serem aplicados para sanar estas deficiências.

Fica evidente, então, a falha ou falta de planejamento de uma forma generalizada e a correção destes problemas certamente serão muito mais dispendiosos do que seriam se houvesse uma visão a longo prazo dos problemas, tão previsíveis com a experiência passada. Se, no decorrer da urbanização das metrópoles, houvesse o controle de uso e ocupação do solo de maneira mais adequada e eficiente, as soluções seriam mais voltadas à busca de recursos para implantação de tecnologias talvez até mais simples.

Este equívoco certamente irá além da captação de recursos mas envolverá muita motivação política, técnicas mais apuradas, soluções mais caras e talvez com capacidade reduzida, desapropriações e, neste ponto, chama-se a atenção para quando houver a necessidade de remoção de famílias onde o processo se tornará muito mais difícil e lento.

Constantemente as dificuldades não se apresentam somente na área técnica, pois há inúmeras técnicas e profissionais altamente gabaritados para encontrar as

melhores soluções aliadas ao fator econômico, mas infelizmente a maior dificuldade se torna política.

O apoio do poder público sempre foi uma questão difícil mas deve ser encarado como um dos pontos centrais das discussões. Como exemplo do que está sendo explanado, pode-se observar a situação dos Reservatórios de Contenção de Cheias (Piscinões) em operação na cidade de São Paulo. Todos estes são operados e mantidos pelo poder público municipal e, dos recursos destinados à sua manutenção e conservação para o ano de 2012, cerca de 700 milhões de reais, pouco mais da metade (aproximadamente 400 milhões) foi utilizada, sendo grande parte deste recurso utilizado durante o período de chuvas, por falta de planejamento nas licitações para contratação de empresas para a prestação destes serviços. A Tabela 1 apresenta os 19 (dezenove) piscinões na cidade e os volumes reservados individualmente.

Tabela 1. Relação dos Reservatórios de Controle de Cheias na cidade de São Paulo (Piscinões)

PISCINÃO	CONSTRUÇÃO	CURSO D'ÁGUA	CAPACIDADE
Anhanguera	DAEE - Dez/2009	Ribeirão Vermelho	160 mil m ³
Aricanduva I	Prefeitura de São Paulo	Córrego Aricanduva	200 mil m ³
Aricanduva II	Prefeitura de São Paulo	Córrego Aricanduva	150 mil m ³
Aricanduva III	Prefeitura de São Paulo	Córrego Aricanduva	320 mil m ³
Aricanduva V	Prefeitura de São Paulo	Córrego Aricanduva	167 mil m ³
Bananal	Prefeitura de São Paulo	Córrego Bananal	210 mil m ³
Caguaçu	Prefeitura de São Paulo	Córrego Caguaçu	310 mil m ³
CPTM/Jd. Maria Sampaio	DAEE – Jun/2004	Córrego Pirajuçara	120 mil m ³
Eliseu de Almeida	DAEE – Out/2004	Córrego Pirajuçara	113 mil m ³
Guaraú	Prefeitura de São Paulo	Córrego Guaraú	240 mil m ³
Inhumas	Prefeitura de São Paulo	Córrego Inhumas	100 mil m ³
Jabaquara	Prefeitura de São Paulo	Córrego Águas Espraiadas	360 mil m ³
Limoeiro	Prefeitura de São Paulo	Córrego Limoeiro	300 mil m ³
Pacaembu	Prefeitura de São Paulo	Córrego Pacaembu	74 mil m ³
Pantanal	Prefeitura de São Paulo	Córrego Três Pontes	15 mil m ³
Pedras	Prefeitura de São Paulo	Córrego Rio das Pedras	25 mil m ³
Pedreira	Prefeitura de São Paulo	Córrego Pedreiras	1,5 milhão m ³
Rincão	Prefeitura de São Paulo	Córrego Rincão	304 mil m ³
Sharp	DAEE – Jan/2010	Córrego Pirajuçara	500 mil m ³

Fonte: http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=60%

Acesso: 02/02/2013 às 16:08

O caso a seguir evidencia a falta de gestão pública na manutenção dos reservatórios **(Erro! Fonte de referência não encontrada.)**.

Figura 2. Piscinão do Córrego Caguaçu - Assoreado em 2000

Fonte: SANTOS, A. R. (2011)

Ressalta-se aqui o comprometimento do reservatório que, caso ocorra algum evento extremo de precipitação, será incapaz de conter a vazão para o qual foi idealizado.

Há que se ter em mente, nos dias de hoje, a observância para o conceito ambiental e não somente soluções que não considerem impactos ambientais negativos. Busca-se, então, soluções que sejam passíveis de serem implantadas, de um custo que as tornem acessíveis, não se tornando um obstáculo à captação de recursos e de apoio político-administrativo, e que estas soluções sejam projetadas observando-se as águas em seus aspectos quantitativos e qualitativos, até seu lançamento final nos corpos d'água. Importante ressaltar que as medidas devem ser preventivas e não corretivas, como habitualmente são conduzidos os processos.

A mudança nas características do solo em razão da expansão de ocupação, muitas vezes de maneira desordenada, acarreta em grande impermeabilização do solo, erosão e, por consequência, carreamento de sólidos resultantes da erosão ou até mesmo de grande quantidade de material grosseiro (garrafas PET, por exemplo) para a rede de drenagem e, conseqüentemente, para os corpos receptores.

Além do grande volume precipitado, da diminuição do tempo de concentração, do carreamento de sólidos e de resíduos sólidos, ainda deve-se considerar os resíduos

químicos que possam porventura serem conduzidos pelo escoamento superficial até os corpos d'água. Parte destes resíduos são de difícil, quase impossível, identificação da fonte de geração, tal como os óleos e graxas dos veículos automotores que, com a lavagem das vias, são levados diretamente para os leitos dos rios, dificultando sua depuração e agravando sua contaminação.

Desta forma, além da preocupação de reduzir os efeitos do escoamento superficial com a retenção de grandes volumes de água, há que se ter a preocupação com a qualidade da água que seguirá em direção aos corpos hídricos.

Diante desta necessidade, a implantação de técnicas que atendam não somente à necessidade de retenção de grandes volumes de água, mas que também levem em conta a qualidade da água que será lançada posteriormente, surgiram as técnicas conhecidas como BMP's.

3.2 Poluição Difusa

As melhores práticas tiveram como início o controle, a observância no que se refere aos efluentes e dejetos lançados em corpos d'água e, mais tarde, o controle da então chamada "poluição difusa".

O conceito de poluição difusa (*Nonpoint Source Pollution* – NPS) foi definido inicialmente no CWA (*Clean Water Act*) como fator resultante do escoamento superficial, precipitação, deposição atmosférica, drenagem, infiltração ou modificação das condições hidrológicas. O termo "fonte difusa" é definido como qualquer fonte de poluição de água que não se enquadre na definição legal de "ponto de origem", tal como descrito no CWA (EPA, 2013).

Anteriormente à década de 1980, acreditava-se que a poluição dos corpos d'água era devida aos esgotos domésticos não tratados e efluentes industriais. Atualmente, notou-se que parte da poluição gerada em áreas urbanas tem origem no escoamento superficial sobre áreas impermeáveis, áreas em fase de construção, depósitos de lixo ou resíduos industriais e outros. O escoamento superficial nestes locais carrega o material solto até os corpos d'água, além do fato de que a impermeabilização leva ao aumento da vazão e velocidade da água nas bacias, aumentando a capacidade de arraste e, conseqüentemente, aumentando o potencial de poluição. As redes de drenagem urbana são responsáveis pela veiculação

dessas cargas e sabe-se hoje que se constituem em importantes fontes de degradação de rios, lagos e estuários (SMDU, 2012). A Figura 3 apresenta as formas gerais de poluição difusa em um centro urbano.

Figura 3. Poluição Difusa

Fonte: Adaptado de http://sustainablewater.org/?page_id=20441

Acesso: 06/02/2014 às 20:11.

De acordo com NOVOTNY (2003), oito condições caracterizam as fontes difusas de poluição:

- O lançamento da carga poluidora é intermitente e está relacionado à precipitação;
- Os poluentes são transportados a partir de extensas áreas, antes de atingir o escoamento superficial e os aquíferos rasos;
- As cargas poluidoras são difíceis ou impossíveis de serem monitoradas a partir de seu ponto de origem;

- O controle da poluição de origem difusa obrigatoriamente deve incluir ações sobre a área geradora da poluição, ao invés de incluir apenas o controle do efluente quando do lançamento;
- As emissões e descargas não podem ser mensuradas em termos de limitação de efluente;
- É difícil o estabelecimento de padrões de qualidade para o lançamento do efluente, uma vez que a carga poluidora lançada varia com a intensidade e a duração do evento meteorológico, assim como com as condições geográficas e geológicas e podem divergir muito de um local para outro e de ano em ano;
- Os mais importantes constituintes dos resíduos das fontes difusas, foco de gerenciamento e controle, são os sólidos em suspensão, nutrientes e compostos tóxicos.

NOVOTNY (2003) apresenta um diagrama das fontes de poluição difusa em áreas urbanas, conforme Figura 4.

Figura 4. Diagrama Esquemático de Fontes de Poluição em Áreas Urbanas

Fonte: Adaptado de NOVOTNY (2003)

Uma vez que notadamente atribui-se à poluição difusa e não às cargas concentradas de indústrias e efluentes domésticos o comprometimento das águas por metais pesados, óleos, graxas, solos e demais poluentes, surge a necessidade de atuação, não somente nos pontos de lançamento, como já era previsto, mas há a necessidade de implantação de medidas que atuem sobre a bacia, uma vez que não há como se definir um local exato de intervenção para controle dessa carga.

Cabe ressaltar que a gestão da qualidade da água do escoamento urbano será mais eficiente quanto mais cedo se iniciar a implantação de medidas de controle (SMDU, 2012). Neste sentido, ressalta-se que as medidas atualmente empregadas em território nacional visam o abatimento do pico de cheia, mas estes dispositivos não foram idealizados para a redução da carga poluidora, embora em alguns casos até sirvam para este fim, como é o caso dos reservatórios conhecidos como “Piscinões”. É evidente a preocupação de entidades internacionais na redução da carga poluidora e o combate, no sentido de identificar e eliminar na fonte os problemas de poluição, antes que estes atinjam os corpos d’água.

Para que se possa mitigar tais efeitos, ocorridos de forma esparsa, mas que com o escoamento na bacia tendem a se concentrar e intensificar, se fez necessária a absorção e aplicação do conceito das “Melhores Práticas de Gerenciamento” ou “Técnicas Compensatórias” ou, como são chamadas internacionalmente, “*Best Management Practices*” (BMP).

4 A INTRODUÇÃO DE NOVAS TÉCNICAS

4.1 Visão Geral

A introdução de novas técnicas para o gerenciamento das águas pluviais é, acima de tudo, uma mudança cultural. As práticas higienistas parecem conceitualmente melhores, pois afastam o problema, ao menos assim se imaginava, porém atualmente nota-se que este é só transferido e o impacto sentido por todos.

É fundamental que, além da mudança de cultura para a utilização de técnicas que contemplem o abatimento de volumes em eventos extremos, que sejam observadas as características qualitativas das águas residuais para que estas sejam lançadas

nos corpos d'água em melhores condições e auxiliem na proteção dos recursos hídricos, permitindo a redução do custo de tratamento das águas, por exemplo.

A origem destas novas técnicas e um panorama geral será traçado mais adiante, com o intuito de elencar, organizar e disponibilizar os conceitos mais recentes de forma a torná-los mais acessíveis ao meio técnico nacional, permitindo sua familiarização com estas ferramentas que podem facilmente ser empregadas.

4.2 A Origem das Melhores Práticas

O termo “BMP” é a sigla em inglês de “*Best Management Practices*” (Melhores Práticas de Gerenciamento). Este termo é bastante utilizado nos Estados Unidos e Canadá para se descrever controles de poluição auxiliares nas áreas de efluentes industriais ou esgoto municipal, enquanto que na gestão de águas pluviais as BMP's podem se referir aos controles de escoamento e/ou técnicas de tratamento.

Este termo surgiu no início do século XX por projetistas de unidades de tratamento de esgotos urbanos e/ou efluentes industriais para designar funções de apoio aos sistemas projetados, tais como treinamentos e manutenção, por exemplo.

A primeira publicação, a qual apresenta a imagem acima, que direcionava para o assunto, foi publicada em 1949 com autoria de Craddock e Hursh na *Yearbook of Agriculture* com o título de “*Watersheds and How to Take Care for Them*” (Bacias Hidrográficas e como cuidar delas) onde afirmaram: “Hoje, as melhores práticas de manejo da terra devem ser inauguradas para restaurar uma cobertura vegetal mais favorável e da estrutura do solo se desejamos manter a terra e as condições fluxo das águas para servir nosso presente e as necessidades de água no futuro”. Estes foram os precursores das BMP's de hoje. A seguir apresenta-se um pequeno trecho do texto citado para demonstrar a preocupação, já na década de 1940, em relação ao recobrimento vegetal e ao carreamento de material e o impacto no próprio meio.

Cada hectare de terra em uma bacia de drenagem recebe e dispõe de precipitação e, portanto, funciona como parte integrante de uma bacia hidrográfica inteira. Em cada hectare, a cobertura vegetal e o solo controlam a recepção e disposição da precipitação. O controle varia de lugar para lugar, resultando em diferentes graus de equilíbrio entre as forças destrutivas do tempo e os processos de desenvolvimento de formação do solo e sucessão vegetal (CRADDOCK e HURSH, 1949).

A figura a seguir apresenta o ciclo hidrológico apresentada na publicação citada anteriormente.

Figura 5. O Ciclo Hidrológico

Fonte: Adaptado de CRADDOCK e HURSH (1949)

A gestão de águas pluviais como uma disciplina com enfoque ambiental, surgiu no final do século XX, onde o termo começou a ser utilizado para dispositivos de controle estruturais ou para tratamento de águas poluídas.

O termo é utilizado primeiramente pelo Governo norte-americano no “*Clean Water Act*” (CWA) em 1972, mas não é definido. Mais tarde, em 1987, surge o “*Water Quality Act*” (WQA) na alteração da CWA e o termo “*Stormwater BMP*” (BMP para Águas Pluviais) é utilizado na descrição do “*Nonpoint Source Management Demonstration Program*”. Neste mesmo ano, surge oficialmente o termo “*Nonpoint Source*” (NPS – Fonte de Poluição Difusa) e há maior envolvimento do governo americano cobrando a organização dos estados sobre esta questão.

Outra referência às BMP's para Águas Pluviais é adicionada em 2001 em outro documento oficial intitulado "Wet Weather Watershed Pilot Project Program".

Atualmente, a EPA (*Environmental Protection Agency* - Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana) em conjunto com outros órgãos, criou o *National Pollutant Discharge Elimination System* (NPDES – Sistema Nacional de Eliminação de Descarga de Poluentes) o qual define como BMP "a programação de atividades, a proibição de práticas, os procedimentos de manutenção e outras práticas de gerenciamento para prevenir ou reduzir a descarga de poluentes nas águas...".

4.3 A Experiência dos Estados Unidos e Canadá

Em 1996, a *American Society of Civil Engineers* (ASCE – Sociedade Americana dos Engenheiros Civis), em conjunto com a EPA, criaram a *International Stormwater BMP Database* (Banco de Dados Internacional de BMP para Águas Pluviais - <http://www.bmpdatabase.org/index.htm>) no qual são apresentadas informações e análises de mais de 500 estudos sobre o assunto.

Certamente os Estados Unidos possuem muito conhecimento sobre o tema, tanto por ser o país pioneiro, quanto pela sua organização e cobrança aos estados que possuem suas próprias agências de controle ambiental. Atualmente, a EPA é uma das grandes referências mundiais sobre o assunto e grande parte do material de base de outros países referem-se às técnicas norte-americanas. O Canadá segue no mesmo sentido, utilizando-se das normas dos Estados Unidos mas possui sua organização própria, como pode ser observado na GVS&DD – *Greater Vancouver Sewerage and Drainage District* (Distrito da Grande Vancouver – Drenagem e Esgoto).

Abaixo seguem algumas agências de referência dos dois países, onde são apresentados os diagramas de organização das BMP's em cada uma das entidades, permitindo observar a variação entre as mesmas.

- EPA – Environmental Protection Agency (EUA);

Figura 6. Diagrama das BMP's pela EPA

Fonte: EPA, 2004 e <http://www.bmpdatabase.org/>

Acesso em: 27/02/2014 às 00:13

A EPA possui, do lado esquerdo do diagrama, a itemização proposta na publicação EPA (2004) e, à direita, a organização dos dados armazenados no Banco de Dados Internacional de BMP, mantido pela entidade.

Enquanto no Banco de Dados a organização se apresenta de forma tradicional como será exposto mais adiante, a publicação separa as técnicas em Controle na Fonte e Tratamento. Há uma outra divisão, também utilizada pela EPA, que separa as técnicas por tipo de processo (infiltração, filtração, etc).

Em geral, os órgãos ambientais norte-americanos e até canadenses se utilizam dessas divisões. É o caso dos Estados da Pensilvânia (DEP - *Department of Environmental Protection*) na Figura 7, da Carolina do Norte (NCDENR - *North Carolina Department of Environment and Natural Resources*) na Figura 8, na cidade de Denver (UDFCD – *Urban Drainage and Flood Control District*) na Figura 9 e da região metropolitana de Vancouver, no Canadá (GVS&DD - *Greater Vancouver Sewerage and Drainage District*) na Figura 10.

Enquanto a Pensilvânia e a Carolina do Norte possuem estruturas bastantes semelhantes, Denver faz uma subdivisão nas Medidas Não Estruturais e, na estrutura de Vancouver, nota-se uma outra divisão principal, chamada de Operacional e Manutenção. Nesta divisão proposta pelo GVS&DD está prevista a varrição de ruas que, em vários casos é adotada como Medida Não Estrutural mas ressalta-se que também é englobada a manutenção dos BMPs nesta mesma divisão, preocupação esta não observada em outras estruturas.

Figura 7. Estrutura da Pensilvânia

Fonte: DEP, 2006

Figura 8. Estrutura da Carolina do Norte

Fonte: NCDENR, 2007

Figura 9. Estrutura DENVER

Fonte: UDFCD, 2007

Figura 10. Estrutura Canadense

Fonte: GVS&DD, 1999

Além do conceito BMP, os norte-americanos, através da EPA, também idealizaram o conceito por eles chamado de LID – *Low Impact Development* (Desenvolvimento de Baixo Impacto). O enfoque deste conceito é que qualquer área a ser desenvolvida deverá ser hidrológicamente funcional, de forma a se obter as condições pré-desenvolvimento. De acordo com a EPA, algumas técnicas podem ser utilizadas no conceito LID, tais como: jardins de chuva, telhados verdes, cisternas e pavimentos permeáveis. A ideia principal é intervir o mais próximo possível da fonte.

Adicionalmente ao conceito LID e, um pouco mais recente, também foi adotado o conceito GI - *Green Infrastructure* (Infraestrutura Verde), porém esta sigla é utilizada pela Comunidade Europeia e há dúvidas sobre sua autoria. Para a EPA este conceito refere-se aos sistemas e práticas que usam ou imitam processos naturais como infiltração, evapotranspiração ou o reúso das águas pluviais do local onde são geradas.

4.4 A Experiência do Reino Unido

Na Europa, a atenção para estas técnicas teve como ponto de partida o Reino Unido. Durante a expansão de uma área urbana em um projeto chamado *DEX - Dunfermline Eastern Expansion* (Expansão de Dunfermline Oriental) na região da Escócia, com a previsão de implantação de 5.000 novas residências e o investimento de milhões de libras, o consultor ambiental Brian D'Arcy escreveu as primeiras normas e requisitos os quais culminaram na criação do conceito SUDS - *Sustainable Urban Drainage System* (Sistema Sustentável de Drenagem Urbana) no Reino Unido.

Este conceito foi desenvolvido com a participação da Escócia, que criou em 1996 a *SEPA – Scottish Environment Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental Escocesa), entidade esta que participou ativamente da produção do Manual SUDS. A *CIRIA - Construction Industry Research and Information Association* – Associação de Informação e Pesquisa da Indústria da Construção), entidade sediada em Londres, lança no ano 2000 o primeiro manual registrado como *CIRIA (C521) SUDS Manual Scotland & N Ireland* (Manual SUDS – Escócia e Irlanda do Norte).

Diferentemente do que se tornou usual nas divisões sob a sigla BMP, conforme exemplos norte-americanos e canadense, as divisões apresentadas (Figura 11) no SUDS subdividem-se em:

- Controle na Fonte;
- Sistema de Transporte Permeável;
- Pré-Tratamento; e,
- Tratamento Passivo.

Embora diferente do conceito de BMP e com técnicas praticamente idênticas, a estruturação proposta pelo SUDS possui uma sequência lógica de operações e atividades pela preocupação inicial de controle na fonte, seguido pelo transporte do volume excedente e, com pré-tratamento para só então ocorrer o tratamento.

Figura 11. SUDS - Estrutura Geral

Fonte: Adaptado de www.sudswales.com

Acesso em: 24/02/2014 às 13:31

Uma das grandes contribuições do trabalho desenvolvido no Reino Unido é a criação de uma comunidade chamada SUSDRAIN (www.susdrain.org) totalmente voltada para práticas sustentáveis fazendo com que os conceitos sejam divulgados e aplicados pelo Reino Unido.

De forma geral, o conceito SUDS traz consigo a preocupação ambiental das soluções e um caráter paisagístico de integração com o meio, resultando em uma aceitação mais fácil por parte da população e tornando-o, de certa maneira, diferenciado do conceito BMP.

Embora o conceito SUDS não apresente de maneira formal medidas Não Estruturais, há por trás do mesmo todo o arcabouço legal que viabilize tais medidas e o envolvimento total da população, pois o conceito não se limita à implantação de

dispositivos isolados mas envolve a modificação de uma área de atuação de forma a que a população esteja inserida.

4.5 O conceito introduzido pela Austrália

A Austrália utiliza a nomenclatura SQID - *Stormwater Quality Improvement Devices* (Dispositivos de Melhoria de Qualidade de Águas Pluviais) onde os dispositivos apresentados tem como objetivo a remoção de cargas poluidoras dos escoamentos superficiais, principalmente os resíduos mais grosseiros. SQID assemelha-se ao conceito de BMP.

O conceito australiano é o mais novo dentre os anteriores mas também o mais completo. O chamado WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) não possui uma tradução já difundida, porém pode-se dizer que seria algo como “Projeto Urbano Sensível às Aguas”.

O termo “*Water Sensitive*”, também já utilizado nos Estados Unidos pela EPA, traz consigo a ideia da preocupação com a água durante todo o ciclo, razão pela qual a tradução proposta “Sensível às Aguas”.

A CRCWSC (*Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities* – Centro de Pesquisa Cooperativa para Cidades Sensíveis à Água) define que as “cidades sensíveis à água” são resilientes, habitáveis, produtivas e sustentáveis. As cidades devem interagir com o ciclo hidrológico de forma a:

- Prover a segurança essencial da água para a prosperidade econômica;
- Melhorar e proteger a saúde dos cursos d’água e dos alagadiços;
- Mitigar o risco de inundações e danos recorrentes;
- Criar espaços públicos para coletar, limpar e reciclar a água.

Esta sistemática de gestão visa:

- A biodiversidade;
- Sequestro de carbono;
- Redução dos efeitos das ilhas de calor urbano.

Para que seja possível visualizar o conceito, apresenta-se na Figura 12 um diagrama da situação natural, urbanizada e a urbanizada com a utilização do conceito WSUD.

Nota-se que uma das principais diferenças entre este conceito e os demais é o reaproveitamento das águas, evitando seu simples descarte, mesmo que tratado. O conceito é reduzir os impactos até que seja possível chegar próximo às condições naturais, ou seja, sem intervenção humana.

Figura 12. Ciclo das Águas - WSUD

Fonte: Adaptado de <http://waterbydesign.com.au/whatiswsud/>

Acesso em 18/02/2014 às 19:00

De forma geral, além dos pontos observados deste novo conceito, visa-se também o envolvimento de toda a sociedade para a gestão das águas, incluindo parcerias público-privadas e envolvimento direto das comunidades nesta gestão.

4.6 O conceito da Nova Zelândia

Na Nova Zelândia, país que possui grande preocupação ambiental devido às suas belezas naturais, o NZWERF - *New Zealand Water Environment Research Foundation* (Fundação de Pesquisa Ambiental da Água da Nova Zelândia) utiliza a nomenclatura *On-site Stormwater Management* (Gerenciamento de Águas Pluviais no Local) como sendo o equivalente aos BMPs.

Neste país foi introduzido o conceito chamado LIUDD – *Low Impact Urban Design and Development* (Projeto e Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto) que possui

os mecanismos apontados nos conceitos anteriores, fazendo deste conceito algo similar ao LID, conceito norte-americano.

Na Figura 13 é apresentada a estrutura principal do sistema de gestão aplicado.

Figura 13. Estrutura Básica das Técnicas - Nova Zelândia

Fonte: Adaptado de NZWERF, 2004

4.7 O cenário nacional

O Brasil já possui envolvimento do meio acadêmico com a questão de soluções de drenagem para abatimento das ondas de cheia, em geral, sendo este tão somente o foco dos projetos.

Problemas constantes com inundações em regiões metropolitanas como a de São Paulo fez com que o meio técnico se voltasse para resolver estes pontos. Porém, somente focar o conceito de redução do volume escoado já está ultrapassado, necessitando que seja dada a devida atenção aos aspectos qualitativos da água.

Os Reservatórios de Retenção, conhecidos como “Piscinões”, já são técnica bastante difundida e, ainda que não tenham sido idealizados com este intuito, removem os sólidos grosseiros, material em suspensão, auxiliando na redução da carga poluidora.

Na Figura 14 foram dispostas as divisões propostas por alguns dos principais especialistas nacionais sobre o assunto.

Figura 14. Técnicas Compensatórias – Cenário Nacional

A introdução dos conceitos, tais como os apresentados anteriormente, foi realizada com as denominadas Medidas Não Convencionais (CANHOLI, 2005), posteriormente Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005), Medidas de Controle das Inundações Ribeirinhas (TUCCI, 2006), SUSU - Sistema Urbano Sustentável de Drenagem (TOMAZ, 2007) e, por fim, Medidas Ótimas para o Gerenciamento das Cargas Difusas (SMDU, 2012) sendo esta a última publicação de vulto a tratar do assunto e de grande circulação no meio técnico, desenvolvida pelo FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, órgão vinculado ao DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo e à POLI - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Conforme apresentado, alguns termos tem sido utilizados para tratar das técnicas conhecidas como BMP's, porém, devido ao que vem sendo utilizado pelo meio acadêmico relativo ao assunto, será adotado o termo "técnicas compensatórias" ao longo deste trabalho.

5 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA - DEFINIÇÃO

As melhores práticas de gerenciamento ou Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana ou BMP para drenagem urbana são medidas de controle tomadas para mitigar as mudanças de quantidade e qualidade do escoamento superficial urbano por mudanças de uso do solo. Estas técnicas são introduzidas visando a redução do volume das águas pluviais, os fluxos de pico, e/ou minimizar os efeitos das fontes de poluição difusa através da evapotranspiração, infiltração, retenção e filtração ou ações químicas e biológicas.

Em outra definição, estas técnicas caracterizam-se por um conjunto de práticas, projetadas para atuar como eficazes, possíveis de minimizar os impactos do desenvolvimento e das atividades humanas na qualidade da água (NVPDC, 1996).

Basicamente, estas técnicas são divididas em dois grupos principais:

- Medidas Não Estruturais;
- Medidas Estruturais.

As medidas não estruturais são aquelas relativas aos programas de prevenção, educação e controle de emissão dos poluentes e, se aplicadas em caráter "preventivo", serão mais eficientes e possuirão uma relação custo-benefício muito melhor do que se forem utilizadas em caráter "corretivo". São medidas que visam prioritariamente a conscientização e envolvimento de todas as esferas da sociedade e, desta forma, são necessários programas de esclarecimento e conscientização.

Já as medidas estruturais compreendem as obras de engenharia e outras intervenções físicas que sejam diretamente ligadas ao controle do escoamento como canais, alagadiços, bacias de retenção/ retenção que, segundo CANHOLI (2005), podem ser caracterizadas como:

- Medidas Intensivas – estas medidas, de acordo com seu objetivo, podem ser de quatro tipos:
 - ✓ de aceleração do escoamento (canalização e obras correlatas);

- ✓ de retardamento do fluxo (reservatórios de detenção/ retenção ou restauração de calhas naturais);
 - ✓ de desvio do escoamento (túneis de derivação e canais de desvio);
 - ✓ que englobem a introdução de ações individuais visando tornar a edificação à prova de enchentes.
- Medidas Extensivas – correspondem:
 - ✓ aos pequenos armazenamentos disseminados na bacia;
 - ✓ a recomposição da cobertura vegetal;
 - ✓ ao controle de erosão do solo, ao longo da bacia de drenagem.

Embora sejam descritas a seguir, as medidas estruturais e não estruturais possuem suas limitações e, para que se tenha um melhor resultado, entende-se que ambas são complementares e a escolha das medidas a serem adotadas devem considerar as características hidrológicas, topográficas e pedológicas da bacia para uma escolha mais adequada. No caso de não existirem experiências locais, sugere-se a aplicação em uma área piloto para que se possa testar a eficiência dos métodos a serem utilizados (SMDU, 2012).

Em Denver (EUA), estimou-se que o custo das medidas estruturais correspondentes à proteção contra inundações de 1/3 da bacia, em média, era equivalente ao custo de proteção, por medidas não estruturais dos 2/3 restantes (CANHOLI, 2005). Segundo MÜLLER (2011), a fração equivalente para o mesmo local é de 1/4 para medidas estruturais contra 3/4 para as medidas não estruturais. Ressalta-se aqui que, independentemente da fração, nota-se a importância na adoção das medidas não estruturais.

5.1 Medidas Não Estruturais

As medidas não estruturais são aquelas relativas aos programas de conscientização, de prevenção e controle de emissão dos poluentes. Estas medidas tem caráter predominantemente preventivo, embora possam ser utilizadas em caráter corretivo.

Em geral, as medidas não estruturais buscam o planejamento urbano com a ordenação de uso e ocupação do solo, evitando-se, por exemplo, a ocupação de zonas ribeirinhas, alagáveis. Estas medidas contemplam ainda sistemas de alerta e programas de conscientização de descarte de resíduos tóxicos e até dejetos de animais, etc.

De acordo com SMDU (2012) e UDFCD (1992) pretende-se, com a implantação das medidas não estruturais, atingir os seguintes objetivos:

- Melhoria da qualidade do escoamento e, conseqüentemente, do corpo receptor;
- Redução de sedimentos, detritos, óleos, produtos químicos e outros poluentes depositados nos corpos d'água;
- Ser economicamente eficiente;
- Ser consistente com os objetivos do controle de qualidade da água do corpo receptor;
- Ser aplicável a toda a área da bacia;
- Ser aceitável pela população;
- Ser consistente com as medidas estruturais propostas ou implantadas.

Como benefícios pela implantação das medidas não estruturais, além dos já alcançados nos objetivos, pode-se citar:

- Frequência de manutenção necessária de controles estruturais é reduzida;
- Benefícios adicionais para a qualidade do ar, qualidade da água no solo, e controle de resíduos sólidos;
- A conscientização do público para os problemas da qualidade da água e o envolvimento em soluções é elevada, havendo maior sensibilização pública para as questões de qualidade de águas pluviais;
- A maioria exige apenas uma alteração das práticas existentes e são simples de entender;

- A implementação pode ocorrer rapidamente;
- Não é necessário o financiamento da construção com grande capital.

Ressalta-se que não há avaliação da eficiência conseguida na remoção de poluentes, mesmo em contexto internacional. As medidas recomendadas pressupõem melhorias da qualidade da água do corpo receptor, minimizando também os investimentos com as medidas estruturais (SMDU, 2012).

Alerta-se ainda para que a adoção de medidas não estruturais pode criar uma sensação de falsa segurança e até induzir à ampliação da ocupação das áreas inundáveis (CANHOLI, 2005). Estas ações serão mais eficazes e com custos mais baixos se adotadas durante períodos mais longos de duração.

As medidas não estruturais são estreitamente ligadas às atividades das pessoas e seus comportamentos e a sua eficácia depende do envolvimento da população, a sua vontade de aceitar a informação, e sua vontade de colocar em prática estas medidas. Além das observações anteriores, deve-se observar as seguintes desvantagens na utilização das medidas não estruturais:

- A informação pública é dispendiosa para desenvolver e distribuir, e deve ser atualizada e redistribuída de forma contínua;
- Eficácia das medidas de boa organização é determinada principalmente pela participação voluntária e consistência das atividades;
- Iniciativas de parcerias público/ privadas de financiamento são necessárias para garantir a participação e estimular o desenvolvimento de infraestrutura de informação e melhorias, tais como centros de reciclagem e programas de coleta de resíduos tóxicos e perigosos;
- Requer uma força de trabalho dedicada e financiamento para manter programas viáveis e manter a participação da população;
- Efeitos sobre a qualidade de águas pluviais de BMP's não estruturais são praticamente impossíveis de quantificar e mensurar com precisão, sem dados de longo prazo. Por outro lado, as quantidades de materiais recolhidos e reciclados, são quantificáveis e podem servir como uma medida indireta do sucesso global.

As medidas não estruturais são agrupadas de forma semelhante pela bibliografia existente, com itens similares. O quadro a seguir apresenta as medidas não estruturais apontadas por vários autores, tendo por base a estruturação efetuada por NVPDC (1996).

Tabela 2. Quadro de Apresentação das Medidas Não Estruturais

NVPDC (1996)			UDFCD (1992)	EPA (2004)	SMDU (2012)	MÜLLER (2011)	KAWATOKO (2012)
Divisão Principal	Subdivisão	Programas					
Prevenção à Poluição	Gerenciamento de Uso do Solo Urbano e Melhorias	Controle de Uso do Solo			Controle do Uso do Solo Urbano	Regulamentação para Minimizar o Aumento das Vazões na Zona de Produção	
			Controle de Erosão		Regulamentação para Áreas de Construção		
			Controle de Sedimentos				
			Proteção aos Cursos D'água				
			Estratégias de Paisagismo		Áreas Verdes		
			Reflorestamento Urbano e Restauração das Matas Ciliares				
							Balanço Hídrico de Terceira Geração
							IPTU Hidrológico
	Educação da População e Medidas Voluntárias	Educação da População	Minimização de Resíduos - Controle na Fonte	Educação Pública	Educação da População		
		Grafitagem de Bocas de Lobo					
		Controle de Resíduos de Animais					
		Educação e Cuidados com Áreas Verdes e Gramados					
		Redução da Geração de Resíduos Gerados por Automóveis					
	Gerenciamento de Plantas Industriais		Uso de Pesticidas, Herbicidas e Fertilizantes				
			Minimização de Resíduos - Controle na Fonte				
			Organização e Limpeza				
			Manutenção Preventiva				
		Prevenção ao Vazamento e Planos de Emergência					
Medidas de Controle	Controles vegetativos			Controles Vegetativos			
	Bioretenção						
	Wetlands						
	Varrição de Ruas			Varrição de Ruas	Varrição de Ruas		
			Controle de Descargas Iícitas	Prevenção, Detecção e Remoção de Ligações Iícitas	Controle de Ligações Clandestinas		
					Controle da Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos		
Medidas Mitigadoras						Construção à Prova de Enchente	
						Sistema de Previsão e Alerta	
						Zoneamento de Áreas Inundáveis	
						Seguro de Inundação	

O quadro acima apresenta as medidas propostas por vários autores, agrupadas com base nos dois itens principais de NVPDC (1996) mas também entende-se necessária a criação de um terceiro item, descrito por UDFCD (1992) como “Mitigação” e, neste item, foram inseridas as medidas propostas por MÜLLER (2011), pois entende-se que estas medidas tem como objetivo atenuar os impactos

e, desta forma, foram encaradas como medidas de remediação e não como medidas para redução de cheias ou melhoria da qualidade das águas, porém não deixam de ser importantes.

Outro ponto que merece destaque sobre a documentação elaborada por UDFCD (1992) é que esta, talvez por ser a menos atual, apresenta um enfoque voltado mais para a indústria, motivo pelo qual entende-se que seja necessária a separação em outro item. Nesta mesma publicação há um capítulo dedicado somente às práticas voltadas para as construções, mas estas foram englobadas no item de “Prevenção à Poluição”.

Ressalta-se que os itens apontados por KAWATOKO (2012), não constam de nenhuma das bibliografias aqui apontadas e são inovações adaptadas à realidade brasileira, mais precisamente ao Estado de São Paulo, uma vez que a pesquisadora utilizou como fonte a cidade de São Carlos – SP.

Desta forma, as medidas não estruturais foram divididas em três grupos principais. Os grupos e suas subdivisões e programas estão apresentados a seguir. Apresenta-se, ao final desta itemização, um quadro com os mesmos tópicos, visando facilitar a visualização e entendimento.

- Prevenção à Poluição
 - ✓ Gerenciamento de Uso do Solo Urbano e Políticas Públicas
 - Controle de Uso do Solo
 - Controle de Erosão
 - Controle de Sedimentos
 - Proteção aos Cursos D'água
 - Estratégias de Paisagismo
 - Reflorestamento Urbano e Restauração das Matas Ciliares
 - Balanço Hídrico de Terceira Geração
 - IPTU Hidrológico

✓ Educação da População e Medidas Voluntárias

- Educação da População
- Grafitação de Bocas de Lobo
- Controle de Resíduos Animais
- Educação e Cuidados com Áreas Verdes e Gramados
- Redução da Geração de Resíduos Gerados por Automóveis

✓ Gerenciamento de Plantas Industriais

- Uso de Pesticidas, Herbicidas e Fertilizantes
- Minimização de Resíduos – Controle na fonte
- Organização e Limpeza
- Manutenção Preventiva
- Prevenção ao Derramamento e Resposta

• Medidas de Controle

- Varrição de Ruas
- Controle de Ligações Clandestinas
- Controle de Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos

• Medidas Mitigadoras

- Construção à Prova de Enchente
- Sistema de Previsão e Alerta
- Zoneamento de Áreas Inundáveis
- Seguro de Inundação

Tabela 3. Divisão Proposta das Medidas Não Estruturais

Divisão Principal	Subdivisão	Programas
Prevenção à Poluição	Gerenciamento de Uso do Solo Urbano e Políticas Públicas	Controle de Uso do Solo
		Controle de Erosão
		Controle de Sedimentos
		Proteção aos Cursos D'água
		Estratégias de Paisagismo
		Reflorestamento Urbano e Restauração das Matas Ciliares
		Balanço Hídrico de Terceira Geração
		IPTU Hidrológico
	Educação da População e Medidas Voluntárias	Educação da População
		Grafitagem de Bocas de Lobo
		Controle de Resíduos de Animais
		Educação e Cuidados com Áreas Verdes e Gramados
		Redução da Geração de Resíduos Gerados por Automóveis
	Gerenciamento de Plantas Industriais	Uso de Pesticidas, Herbicidas e Fertilizantes
		Minimização de Resíduos - Controle na Fonte
		Organização e Limpeza
		Manutenção Preventiva
		Prevenção ao Derramamento e Resposta
Medidas de Controle	Varrição de Ruas	
	Controle de Ligações Clandestinas	
	Controle da Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos	
Medidas Mitigadoras	Construção à Prova de Enchente	
	Sistema de Previsão e Alerta	
	Zoneamento de Áreas Inundáveis	
	Seguro de Inundação	

Serão detalhadas, a seguir, as medidas não estruturais, fornecendo elementos de análise à estrutura aqui proposta.

5.1.1 Prevenção à Poluição

A divisão das medidas não estruturais em “Prevenção à Poluição” engloba os itens que possuem caráter preventivo, voltados à diminuição de vazões e/ou melhoria na qualidade das águas.

De uma maneira mais ampla, os itens apontam para controles relativos à minimização de impactos negativos mas também para a elaboração de atividades de ordem político-administrativa, como a criação de normas, regulamentos e ajustes no recolhimento de impostos pelo poder público.

Conforme a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a Prevenção à poluição stá dividida em três categorias, descritas a seguir.

5.1.1.1 Gerenciamento de Uso do Solo Urbano e Políticas Públicas

O gerenciamento do Uso do Solo Urbano e as práticas de Políticas Públicas são fundamentais ao desenvolvimento consciente e sustentável, além de ser um dos pilares das melhores práticas. Embora seja voltado à utilização de ferramentas de gestão (leis, normas, procedimentos, etc) o gerenciamento de uso do solo deve ser implementado em vários níveis, buscando encorajar, por exemplo, a reutilização de espaços públicos voltados ao desenvolvimento em áreas já construídas, reduzindo assim a criação de mais superfícies impermeáveis (NVPDC, 1996).

Há que se ressaltar que o desenvolvimento de uma região, sem levar em conta seu entorno, pode levar a população à necessidade de efetuar viagens mais longas de automóveis, por exemplo, aumentando a poluição atmosférica. Da mesma forma, uma região idealizada com um propósito ambiental e utilização de medidas não estruturais também será inútil se os seus moradores e empresas não tiverem em mente o cuidado com a qualidade das águas (NVPDC, 1996).

Os programas de gerenciamento foram divididos em oito categorias:

5.1.1.1.1 Controle de Uso do Solo

O controle de Uso do Solo compreende qualquer lei, norma, procedimento ou regulamento que protege o uso do solo ou incentive o crescimento consciente, que determine metas para o crescimento e incentive o uso adequado do espaço urbano,

desencorajando o crescimento desnecessário e que auxilie na proteção de áreas sensíveis e/ou de preservação.

Alguns instrumentos podem ser citados para este controle como:

- Plano Diretor de Gerenciamento de Águas Pluviais;
- Lei de Uso e Ocupação do Solo;
- Guias de desenvolvimento em áreas já desenvolvidas, visando a redução de poluição difusa;
- Proteção dos recursos naturais, incluindo encostas íngremes e solos erodíveis, que podem contribuir para a poluição difusa, se houver intervenção;
- Cuidado no desenvolvimento de zonas residenciais, pois estas requerem a implantação de áreas impermeáveis adicionais (arruamento, escolas, mercados, etc).

5.1.1.1.2 Controle de Erosão

A erosão é o processo pelo qual a superfície de solo é desgastada pela ação dos ventos, água, gelo e gravidade. Em geral, grande parte do processo erosivo é iniciado com a intervenção humana em área virgem, após um processo de desmatamento e limpeza da área, deixando o solo totalmente exposto às intempéries.

O controle da erosão é voltado às atividades de movimento de terra, seja ela trazida para a área da obra ou trabalhada no próprio local (cortes, substituição de solo, etc). Para tanto, são necessárias medidas de controle e/ou orientativas para a execução destas obras.

As imagens a seguir apresentam um talude com processo erosivo, a implantação de um conjunto habitacional e de um condomínio de alto padrão onde pode-se destacar a grande área de intervenção sem atenção às proteções contra erosões, evidenciando o problema cultural e de falta de instrumentos de gestão específicos para coibir a prática.

Figura 15. Talude com processo erosivo em andamento

Fonte: UDFCD, 1992.

Figura 16. Implantação de Conjunto Habitacional com grande movimento de terra

Fonte: SANTOS, A. R., 2011

Figura 17. Implantação de Condomínio de Alto Padrão

Fonte: SANTOS, A. R., 2011

A atividade de controle de erosão tem por objetivo minimizar o volume de material carreado do local de intervenção por escavações ou terraplenagem.

Figura 18. Exemplo de loteamento com bom aproveitamento das condições locais

Fonte: TOMAZ (2008)

A Figura 16 e a Figura 17 apresentam a forma costumeiramente utilizada de terraplenagem para implantação de um loteamento. Neste tipo de implantação efetuam-se os cortes e aterros em etapa única, ou seja, retira-se totalmente a cobertura vegetal do terreno e, em geral, são poucos os casos que há a preocupação de retenção dos sólidos para os corpos d'água ou a proteção dos taludes, evitando o processo erosivo.

A Figura 18 apresenta um loteamento com bom aproveitamento da topografia local, utilizando-se das curvas de nível para implantação dos lotes minimizando os movimentos de terra com consequente processo erosivo e carreamento de sólidos. Ressalta-se que este tipo de implantação possui um custo reduzido se comparado com a terraplenagem amplamente utilizada (aproveitamento máximo da gleba com limpeza total do terreno em etapa única) pela minimização dos cortes, aterros, carga e transporte de material e espalhamento em bota-foras, além do custo envolvido nesta disposição final. Deve-se analisar então a questão de custos entre técnicas pois, em muitos casos, o aproveitamento da gleba pode ser reduzido.

SANTOS (2011) elaborou um panfleto com o objetivo de orientar, no qual aponta 7 (sete) procedimentos para evitar o processo erosivo. Seguem descritos na íntegra, de acordo com o autor:

1. Evitar ao máximo as terraplenagens: Usar a criatividade e adaptar seu projeto à topografia e não a topografia ao seu projeto; Demarcar os lotes sem retirar a vegetação e o solo superficial. Somente retirar a vegetação e o solo

superficial, se realmente necessário, no momento da construção de cada edificação, ou seja, lote a lote; Em terrenos com declividade acima de 20% (11,3°), adotar lotes com a maior dimensão paralela às curvas de nível e estimular que as habitações tenham a parte frontal apoiada sobre pilotis (ou expedientes equivalentes), assim evitando encaixes profundos na encosta; Em terrenos inclinados, reduzir o número de ruas a nível, devendo ser privilegiadas as ruas em rampa e o acesso a pé às moradias. Não implantar loteamentos em terrenos com declividade superior a 35% (19,3°). Acima dessa declividade, criar áreas verdes reflorestadas permanentes.

2. Caso alguma terraplenagem seja mesmo indispensável, retirar antes a capa de solo superficial (+ou- 150 cm) e estocá-la, para depois utilizá-la no recobrimento de áreas terraplenadas a serem protegidas com vegetação. O solo superficial é o solo de melhores características agronômicas e construtivas: mais fértil, mais resistente à erosão e melhor para compactar.
3. Nunca lançar o solo resultante de escavações e terraplenagens encosta abaixo. Retirá-lo da área e levá-lo para um bota-fora regularizado, sugerido pela Prefeitura.
4. Logo de imediato à abertura, promover a pavimentação das ruas e a instalação do sistema de drenagem das águas pluviais. Só liberar o loteamento para a construção de habitações somente após a infra-estrutura básica implantada.
5. Programar as operações de terraplenagem de forma a liberar o mais cedo possível os taludes finais para proteção superficial, ou seja, conduzir a terraplenagem de “cima para baixo” ou em painéis sucessivos.
6. Taludes de cortes e aterros resultantes de terraplenagem deverão ser de imediato protegidos com pintura de calda de cal. Mais tarde essa proteção poderá ser substituída por alguma opção vegetal de caráter paisagístico, caso assim se deseje.
7. Programar os eventuais serviços de terraplenagem para os meses menos chuvosos, de forma que na época das chuvas as superfícies de solo porventura expostas já estejam devidamente protegidas.

5.1.1.1.3 Controle de Sedimentos

Em uma obra, principalmente com movimentos de terra, sob a ação da água, os sedimentos são arrastados em direção aos corpos d'água, acumulando-se nas margens. Quando estes sedimentos são carregados sob a ação dos ventos, estes

são depositados em depressões, fendas ou qualquer outro lugar, de acordo com a direção dos ventos, mas o material ficará solto e, quando vierem as chuvas, este material será carregado para os leitos dos cursos d'água, causando assoreamento.

Figura 19. Córrego totalmente assoreado

Fonte: SANTOS, A. R., 2011

Figura 20. Processo erosivo registrado em Bauru (SP)

Fonte: TOMAZ, P. (2008)

As imagens anteriores apresentam o assoreamento total de um leito de um curso d'água e outro de um processo erosivo acentuado, conhecido como voçoroca.

O controle de sedimentos tem por objetivo evitar que todo o material erodido ou outros materiais “soltos” atinjam os corpos d'água ou manter estes resíduos dentro da área de intervenção, sendo de responsabilidade do interventor sua correta destinação.

5.1.1.1.4 Proteção aos Cursos D'água

Constantemente obras são realizadas contíguas aos corpos d'água ou mesmo com a necessidade temporária de travessia destes e, nestes casos, são necessárias medidas de proteção do leito, evitando a erosão, como também medidas de proteção para que não ocorra o assoreamento.

Quando da necessidade de travessias, critérios mínimos devem ser exigidos para tal, ainda que de forma precária, visando a proteção do leito, das margens e entorno, como também salvaguardar as vidas dos operários em um evento de cheia extremo.

5.1.1.1.5 Estratégias de Paisagismo

O objetivo desta técnica é manter ou restaurar as características de retenção e infiltração da paisagem natural, através de um paisagismo voltado para este fim, com a utilização de espécies vegetais apropriadas, que sejam adequadas ao local tanto fisicamente quanto esteticamente.

5.1.1.1.6 Reflorestamento Urbano e Restauração das Matas Ciliares

A mata ciliar é a vegetação que se desenvolve ao longo das margens dos rios, córregos, lagos, lagoas, represas e nascentes (RIZZO, 2007). Estas vegetações nativas possuem a função de preservar os corpos d'água, minimizando o aporte de sedimentos, preservando a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora e, principalmente, a qualidade da água.

Portanto, o objetivo deste item é a criação de mecanismos e órgãos que sejam responsáveis pelo reflorestamento e pela reconstituição das matas ciliares.

5.1.1.1.7 Balanço Hídrico de Terceira Geração

O Balanço Hídrico de Terceira Geração é a somatória das entradas e saídas de água, tanto dos componentes reais como dos virtuais, considerando um grau de neutralidade de impactos ou sustentabilidade de águas urbanas para lotes urbanos, de forma que, para valores próximos a “zero”, haveria o equilíbrio entre os fluxos de entrada e saída.

Os componentes do Balanço Hídrico de Terceira Geração são apresentados por KAWATOKO (2012) como:

- Precipitação Média Anual – produtos sólidos ou líquidos gerados da condensação do vapor d'água provenientes das nuvens, armazenada no ar ou nas superfícies;
- Evapotranspiração Média Anual – quantidade de água transferida do solo para a atmosfera por meio de evaporação e transpiração das plantas;
- Água de Abastecimento – quantidade de água utilizada, que não retornou ao recurso natural. Como exemplo, a água utilizada pelo consumidor em uma residência;
- Água Virtual de Entrada – quantidade de água necessária para gerar um produto, medida no local onde foi gerado. É considerada virtual, pois a maior parte da água utilizada no processo não está contida no produto;
- Água de Diluição – também conhecida como pegada hídrica cinza, é a quantidade de água requerida para assimilar a carga de poluentes, baseada nos padrões de qualidade de água existentes;
- Lâmina de Escoamento – altura d'água a partir da superfície, determinada no escoamento, caracterizada quantitativamente através de variáveis como velocidade e vazão;
- Esgoto Sanitário – definido como atividades, infraestrutura e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos efluentes gerados, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
- Água Virtual de Saída – parte do fluxo que não está disponível para reutilização na mesma bacia hidrográfica, no mesmo período da retirada, ou por ser enviado para outra bacia ou porque é devolvido em outro período de tempo.

A inovação do Balanço Hídrico de Terceira Geração, segundo KAWATOKO (2012) é a inclusão da pegada hídrica, para consideração dos fluxos reais e virtuais. A Pegada Hídrica de um indivíduo, comunidade ou empresa é definida como o volume

total de água doce que é utilizado para produzir os bens e serviços consumidos pelo indivíduo, comunidade ou produzidos pelas empresas.

Desta forma, o Balanço Hídrico de Terceira Geração pode ser utilizado como um indicador para análise na bacia hidrográfica para auxiliar na criação de processos e ferramentas de gestão.

5.1.1.1.8 IPTU Hidrológico

A Prefeitura de Guarulhos, através da Lei nº 6793/ 2010, determinou um incentivo ambiental para os imóveis que adotarem as seguintes medidas:

- Sistema de captação de água de chuva;
- Sistema de reúso da água;
- Sistema de aquecimento hidráulico solar;
- Sistema de aquecimento elétrico solar;
- Construções com material sustentável;
- Utilização de energia passiva;
- Sistema de utilização de energia eólica;
- Instalação de telhado verde; e,
- Separação de Resíduos Sólidos.

KAWATOKO (2012) propôs a adoção do chamado IPTU Hidrológico que seria uma medida para acréscimo do imposto, na escala de lotes urbanos onde a lâmina de água alcance valores mais elevados, comparados com a bacia hidrográfica, ou a diminuição da permeabilidade do solo no lote adquirir valores mais baixos que os encontrados em toda a bacia hidrográfica.

KAWATOKO (2012) sugere ainda a redução do imposto associada à maximização do armazenamento potencial de água no lote e/ou a minimização da vazão máxima instantânea, ou no caso de implantação de medidas compensatórias no lote (trincheiras de infiltração, telhados verdes, etc).

5.1.1.2 Educação da População e Medidas Voluntárias

Neste item são observados aspectos relativos à educação da população e medidas voluntárias, para que se possa atuar em programas de conscientização, fazendo com que a população seja, gradativamente, adaptada e constitua parte integrante e atuante na implantação das medidas não estruturais.

5.1.1.2.1 Educação da População

Aplica-se a atividades e programas que tenham como objetivo, devido a problemas de poluição, alterar o comportamento da população. Neste sentido, ressalta-se que, para a implantação das medidas não estruturais, a participação da população é fundamental, pois em muitas destas atividades propostas não há obras ou intervenções físicas que transmitam uma sensação de segurança contra eventos extremos, diferentemente da implantação de uma medida estrutural. Como exemplos pode-se citar: palestras, gincanas, seminários, panfletagem, etc.

5.1.1.2.2 Grafitação de Bocas de Lobo

A grafitação de bocas de lobo tem por objetivo principal evitar o lançamento de produtos químicos (óleos, graxas, restos de tintas, solventes, etc), resíduos sólidos domiciliares ou qualquer outro tipo de resíduo na rede de drenagem, uma vez que esta rede está conectada a algum corpo hídrico.

O exemplo a seguir foi extraído de panfleto utilizados em Minnesota, EUA.

Figura 21. Grafitação de Bocas de Lobo

A ideia principal é orientar a população de que tudo que se lança na rede de drenagem terá como destino os corpos d'água. Esta atividade é utilizada nos Estados Unidos e é voltada para a participação efetiva da população, pois a grafitação é realizada pelos próprios moradores do local.

5.1.1.2.3 Controle de Resíduos Animais

Os resíduos de animais são responsáveis por grande parte da poluição difusa, especialmente pela poluição através de nutrientes e bactérias (coliformes fecais).

O recolhimento dos dejetos de animais é uma prática mais comum quando se observa animais de pequeno porte e reflete o grau de educação da população. Atualmente no Brasil houve um crescimento de locais especializados para higiene e cuidados especiais com os animais domésticos mas ainda há quem não respeite ou não se importa com seus resíduos.

Há que se observar, inclusive, a correta destinação do cadáver do animal quando este vier a falecer. Ressalta-se que, além do laço afetivo e até religioso que envolve o animal, deve-se levar em conta a segurança e bem estar da comunidade. Quando o animal é saudável e não morreu por doenças infectocontagiosas, este pode ser até enterrado em algum local próprio, de preferência cemitério específico, desde que embalado em plástico fechado hermeticamente. Nos casos de animais que tenham morrido por doenças transmissíveis aos homens (toxoplasmose, leptospirose, raiva, psitacose (aves), etc), estes devem ser cremados, assim como animais que venham a morrer por doenças transmitidas entre animais também devem ser cremados. Em caso de dúvida, o procedimento correto é levar o animal ao veterinário para que este efetue a destinação adequada.

5.1.1.2.4 Educação e Cuidados com Áreas Verdes e Gramados

Envolvem programas para a conscientização da população em se manter áreas verdes em suas residências para controle da poluição e retenção de parcela do escoamento superficial.

As ações também devem ser destinadas a auxiliar a população sobre o cuidado com seus jardins, orientando qual fertilizante pode ser utilizado, qual o procedimento para aplicação de pesticidas e orientar sobre o manejo das pragas.

Ressalta-se que a Prefeitura de São Paulo cedia áreas para que empresas privadas fossem responsáveis por sua manutenção. Este tipo de campanha deve ser incentivada com isenções fiscais ou outras medidas que torne efetiva a parceria com o setor privado e para que seja possível a cobrança dessa manutenção.

5.1.1.2.5 Redução da Geração de Resíduos Gerados por Automóveis

Este programa é voltado para conscientizar a população sobre o problema de poluição gerada pelo uso de veículos e orientar sobre a correta manutenção de seu veículo, promover a reciclagem de óleo, bem como incentivar programas de “caronas solidárias”.

5.1.1.3 Gerenciamento de Plantas Industriais

Esta divisão não poderia ser suprimida, ainda que se esteja focando em uma gestão pública com parceria privada, entende-se que a divisão de medidas não estruturais ou estruturais voltadas para as indústrias e comércio são de suma importância, tanto pela geração e tipos de resíduos gerados, quanto pelo histórico das práticas aqui descritas, que surgiram justamente com um olhar voltado para o controle e minimização de resíduos industriais e, mais tarde, envolvendo toda a população.

De acordo com UDFCD (1992), estas práticas são voltadas para minimizar o impacto na qualidade das águas pelas indústrias e comércio, com a utilização de medidas não estruturais, em um primeiro momento. A partir daí, algumas medidas se tornam necessárias para controlar o “fator humano”. Estes são de natureza processual.

5.1.1.3.1 Uso de Pesticidas, Herbicidas e Fertilizantes

Pesticidas, herbicidas e fertilizantes são utilizados para manter as áreas verdes em residências, indústrias e estabelecimentos comerciais mas são substâncias geralmente tóxicas e que podem contaminar os corpos d’água através do escoamento superficial, se não forem empregados corretamente.

O objetivo deste programa consiste em desenvolver e disseminar informações ao público em geral para auxiliar na correta utilização destes produtos, assim como no descarte de suas embalagens e restos de material, de forma a impedir a sua ida para o sistema de águas pluviais ou diretamente aos corpos d’água.

5.1.1.3.2 Minimização de Resíduos – Controle na fonte

A minimização de resíduos e o controle na fonte refere-se às atividades ou alteração de procedimentos que possibilitem uma otimização dos recursos utilizados e/ou evitar seu desperdício, além da coleta, tratamento e disposição final adequada dos resíduos gerados na planta industrial, antes que estes atinjam o meio ambiente fora dos padrões aceitáveis.

5.1.1.3.3 Organização e Limpeza

Consiste em manter as áreas que contém poluentes limpas e organizadas. A organização e limpeza da área resulta na minimização de poluentes e contaminantes para os corpos d'água.

5.1.1.3.4 Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva envolve inspeção regular das plantas industriais com o intuito de verificar e testar os equipamentos, analisando suas condições de operação e manutenção e verificando possíveis falhas técnicas que possam ocasionar uma quebra ou reparo, e intervir antes que problemas de maior proporção ocorram.

Atenção especial deve ser dada aos equipamentos que operam com componentes químicos que possam, eventualmente, serem lançados no solo em caso de quebra do equipamento.

5.1.1.3.5 Prevenção ao Vazamento e Planos de Emergência

As medidas de Prevenção ao Vazamento e Planos de Emergência são atividades e/ou procedimentos estabelecidos para se evitar que resíduos tais como combustíveis, ácidos, etc sejam lançados no solo, na água ou ar.

Como exemplo, pode-se citar os postos de combustíveis, que devem possuir pavimento rígido e um sistema de drenagem, com caixa separadora de água e óleo, visando uma lavagem do mesmo por uma queda acidental.

Atenção especial deve ser dada aos pátios de transferência de combustíveis e outros, de forma a que se possua uma rede de drenagem separada da rede de águas pluviais, visando a contenção, por exemplo, de um possível rompimento de um caminhão tanque.

Ressalta-se também a importância da fiscalização para as plantas industriais que possuem lagoas de retenção e tratamento de efluentes, principalmente quando há posterior lançamento em corpos d'água para que o efluente esteja enquadrado nos padrões determinados de acordo com a classificação do recurso hídrico.

É importante que estas indústrias além de atenderem ao padrão exigido para o efluente tenham um plano de contingências para os casos extremos de rompimento de lagoas e vazamento que possam atingir os corpos d'água, por exemplo.

5.1.2 Medidas de Controle

As medidas de controle previstas como não estruturais são atividades ou mesmo intervenções que tem como objetivo o controle de poluições difusas quando estas já atingem o meio ambiente.

5.1.2.1 Varrição de Ruas

A varrição de ruas não tem, neste caso, qualquer enfoque estético mas seu principal objetivo é evitar que os resíduos, principalmente do sistema viário, sejam carregados para a rede de drenagem e atinjam o corpo receptor.

Atualmente, na cidade de São Paulo, 5 (cinco) empresas efetuam o serviço de varrição. O serviço consiste na limpeza de meio-fio e calçadas, sendo executado semanalmente ou, como é o caso do centro da cidade (Subprefeitura da Sé), até 10 (dez) vezes ao dia.

O serviço é executado por cerca de 3.500 varredores, com extensão aproximada de 6.900 quilômetros por dia, e a média de volume de resíduos coletados é de 300 toneladas diárias. Este resíduo é constituído, em sua maioria, por areia, terra e materiais particulados, facilmente carregados com as águas.

5.1.2.2 Controle de Ligações Clandestinas

Embora muitas vezes de difícil rastreabilidade, o controle de ligações clandestinas também é um fator importante de comprometimento da qualidade das águas. As ligações podem ser de uma simples residência, efetuando a ligação diretamente no sistema de drenagem urbana, ou de uma indústria, fazendo o mesmo ou efetuando lançamentos diretamente no curso d'água.

As ligações clandestinas de residências somente serão devidamente resolvidas se a região for atendida pelas redes de esgotamento sanitário e, conforme exposto anteriormente, há uma grande deficiência nos municípios brasileiros, de forma generalizada.

No caso dos despejos industriais, já existem normas, regulamentos e leis brasileiras que disciplinam o lançamento, o enquadramento dos despejos à classe do recurso hídrico, e processos de outorga para tanto, mas ainda há deficiência em termos de fiscalização e conscientização para que tais medidas sejam amplamente empregadas.

5.1.2.3 Controle de Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos

Embora atualmente já se tenha a plena consciência dos impactos gerados pelo descarte inadequado de resíduos, é comum observar, principalmente em comunidades carentes e municípios de pequeno porte, tal situação. A falta de uma disposição adequada dos resíduos, além da falta de higiene, é uma prática propícia ao desenvolvimento de colônias de vetores e roedores, com a consequente transmissão de doenças e, em eventos de cheias, causadora de inundações que podem levar a população à morte, quer seja pela força das águas, quer seja por leptospirose, por exemplo.

Ainda que se possua uma coleta regular de resíduos, estes necessitam ser depositados em locais devidamente apropriados ou tratados (no caso de resíduos hospitalares) ou reciclados (materiais não orgânicos).

Grande parte dos municípios brasileiros ainda sofre com a falta de locais adequados à destinação final, pois atrelado ao local correto de descarte, resta ainda o tratamento do lixiviado, em outras palavras, do chorume (líquido resultante da decomposição da matéria orgânica e altamente tóxico) que não pode atingir os corpos d'água. Em locais de disposição inadequada (lixões) este líquido facilmente contaminará as águas subterrâneas e cursos d'água próximos.

Figura 22. Descarte irregular de resíduos em curso d'água

Fonte: SANTOS, A. R. (2011)

A Figura 22 apresenta resíduos sólidos descartados indevidamente às margens de um rio em uma comunidade carente. Essa prática lamentavelmente é comum tanto pela falta de orientação da população quanto pela dificuldade no descarte dos resíduos. Enquanto nas regiões centrais há a coleta regular porta-a-porta, nas comunidades mais carentes são disponibilizados contêineres e, muitas vezes pela dificuldade de acesso se faz necessário que o próprio gerador leve seus resíduos até estes recipientes e, por muitas vezes, estes resíduos acabam sendo lançados em locais inapropriados devido a dificuldade encontrada.

5.1.3 Medidas Mitigadoras

As medidas mitigadoras foram dessa forma classificadas pois englobam atividades que não possuem como objetivo a redução do pico de cheia ou a diminuição da carga poluente mas tem por finalidade atenuar as consequências e/ou alertar sobre o risco iminente, no caso de ocorrências extremas.

5.1.3.1 Construção à Prova de Enchente

De acordo com MÜLLER (2011), a construção à prova de enchente é definida como um conjunto de medidas projetadas para reduzir as perdas dos prédios localizados nas várzeas de inundação durante a ocorrência das cheias. Algumas destas medidas são:

- Instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das estruturas;
- Elevação de estruturas existentes;
- Construção de novas estruturas sob pilotis;
- Construção de pequenas paredes ou diques circundando a estrutura, relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro da estrutura existente;
- Relocação de estruturas para fora da área de inundação;
- Uso de material resistente à água ou novas estruturas;
- Regulamentação da ocupação da área de inundação por implementação de espaços definidos urbanos.

5.1.3.2 Sistema de Previsão e Alerta

O sistema tem por finalidade se antecipar à ocorrência de inundação, alertando a população para reduzir os prejuízos e manter a todos em segurança.

Para que se possua um sistema de previsão e alerta são necessários:

- Sistematização da coleta de dados para planejamento que forneçam à administração os subsídios necessários à tomada de decisão;
- Planejamento de gestão e ações envolvendo todas as esferas administrativas com base em vários cenários de ocupação das bacias;
- Elaboração de medidas mitigadoras para os danos causados pelas inundações;
- Sistema de alerta antecipada com redes telemétricas associadas a modelos de previsão em tempo real;
- Elaboração de projetos a serem implantados a médio e longo prazo.

5.1.3.3 Zoneamento de Áreas Inundáveis

O zoneamento das zonas inundáveis tem por objetivo disciplinar a ocupação urbana através de uma densidade de ocupação compatível com os riscos de inundação da área.

O zoneamento das áreas de inundação pode promover usos produtivos, menos sujeitos a danos, permitindo a manutenção do uso social, como áreas livres no centro, reflorestamento e outros. (MÜLLER, 2011).

5.1.3.4 Seguro de Inundação

O Seguro de Inundação é um procedimento para empreendimentos com valor agregado importante, no qual os proprietários possuem capacidade econômica de pagar o prêmio do seguro.

5.2 Medidas Estruturais

Os BMP's Estruturais são utilizados para reduzir o volume de escoamento superficial ou remover os constituintes deste escoamento. São estruturas capazes de remover poucos poluentes ou atender grandes áreas de drenagem e, logicamente, sua grande diferença entre as medidas não estruturais está no fato de que, para tê-los, são necessárias intervenções físicas, ou seja, estruturais.

De acordo com SMDU (2012) os principais objetivos a serem alcançados com a implantação das medidas estruturais são:

- Remoção eficiente dos poluentes presentes no escoamento superficial;
- Minimização dos impactos no lançamento da drenagem urbana no corpo receptor;
- Relação custo/ benefício aceitável;
- Seleção de alternativas que apresentem necessidades futuras de operação e manutenção viáveis a longo prazo;
- Possibilidade de associá-las a soluções com usos múltiplos, como área de recreação, parques e recursos paisagísticos.

Para a escolha da(s) melhor(es) técnica(s), deve-se inicialmente promover uma reunião para que sejam discutidos os objetivos mínimos que a solução deverá atingir (SCHUELER, 1987). O autor ainda cita 5 (cinco) pontos a serem observados na escolha da melhor técnica:

- Reproduzir, da melhor forma possível, as condições hidrológicas pré-desenvolvimento;
- Prover um nível moderado de remoção de poluentes;
- Ser apropriada a área onde será implantada, levando-se em conta as características físicas locais;
- Ter um custo razoável quando comparada com outras soluções;
- Possuir um custo razoável de manutenção futura;
- Não possuir impacto no meio ambiente natural e humano.

Tendo em vista os dois pontos fundamentais da utilização das BMP's, como sendo minimização do pico de cheias e redução da carga de poluentes, há que se observar princípios para a correta escolha da medida estrutural a ser utilizada. Para tanto, as medidas devem ser eficientes na remoção de poluentes.

Tabela 4. Percentual de Remoção de Poluentes

Alternativa de Controle	Porcentagem de Remoção (%)				
	Sólidos em Suspensão	Fósforo Total	Nitrogênio Total	Zinco	Bactéria
Minimização da área diretamente conectada	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Faixas Gramadas	10-20	0-10	0-10	0-10	n.d.
Valetas Gramadas	20-40	0-15	0-15	0-20	n.d.
Bacias de Detenção Secas	50-70	10-20	10-20	30-60	50-90
Bacias de Detenção Alagadas	60-95	0-80	0-80	0-70	n.d.
Alagadiços	40	9-60	0-20	60	n.d.
Pavimento Poroso	80-95	65	80-85	99	n.d.

Fonte: SMDU (2012)

O quadro anterior apresenta o percentual de remoção de alguns poluentes para alguns tipos de medidas estruturais (SMDU, 2012).

Segundo TOMAZ (2008), é importante ressaltar que as BMP's não atuam simplesmente como instrumentos para reduzir o volume precipitado e escoado, mas também para minimizar os efeitos da poluição difusa através do conceito "*first flush*", propondo-se a deter o volume escoado e com carga poluidora antes que este atinja o corpo receptor.

O "*first flush*" está ligado à fase inicial do escoamento superficial de um evento chuvoso. Durante esta fase, a concentração de poluentes é muito grande, pois há a "lavagem" das superfícies, como os telhados, as vias públicas (sedimentos e óleos), etc.

O conceito de BMP's, bem como sua utilização, já é muito difundido em países como os Estados Unidos, Canadá e países europeus. Preocupam-se não somente com a detenção do grande volume escoado superficial devido às mudanças de uso e ocupação do solo, mas também com a retirada dos poluentes e sedimentos, antes que estes atinjam o corpo receptor.

Segundo URBONAS (2001), o custo para a utilização dos BMP's estruturais é muito alto e, caso estes não forneçam a proteção necessária aos corpos receptores, sua implantação é um total desperdício. Neste caso, o autor chama a atenção para a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a correta utilização dos BMP's para que estes sejam aproveitados em toda a sua capacidade e funcionalidade.

Visando a correta utilização dos vários tipos de dispositivos a serem implantados, foi desenvolvido em 2008 pelo "*Center for Watershed Protection*" (CWP) e pelo "*Chesapeake Stormwater Network*" (CSN), o "*Runoff Reduction Method*" (Método de Redução do Escoamento Superficial), método este definido como a média anual de redução do volume escoado. O método inclui BMP's que permitem alcançar a redução do escoamento, a redução de poluentes ou ambos.

Ainda visando auxílio à disseminação de tecnologia e conhecimento, algumas entidades norte-americanas se uniram e criaram o site <http://www.bmpdatabase.org> onde são encontrados vários artigos sobre o assunto, ferramentas de análise, performances dos dispositivos em vários locais e outras informações úteis.

De acordo com esta base de dados, as tecnologias são divididas em categorias, conforme segue:

- Biofiltro e Biorretenção;
- Bacia de Retenção;
- Telhados Verdes;
- Meio Filtrante;
- Vala de Percolação;
- Pavimento Permeável;
- Lagoa de Retenção;
- Bacia ou Canal Brejoso;
- Outras formas de controle, manutenção e composição.

Segundo ASCE (2001) e complementado por SMDU (2012), a escolha de um BMP é determinada por vários fatores e dois dos que mais influenciam são os políticos e o suporte público. Os demais itens a serem considerados na correta escolha são:

- Área de drenagem;
- Disponibilidade de local;
- Capacidade de infiltração do solo;
- Tipos de poluentes a serem removidos;
- Nível do lençol freático;
- Declividade do terreno;
- Custo de implantação do BMP;
- Custo de manutenção;
- Eficiência da remoção de poluentes necessária.

No Brasil algumas técnicas empregadas, como Reservatórios de Detenção, são bem difundidas, diferentemente de outras técnicas como: telhados verdes, pavimentos porosos, jardins de chuva, que são técnicas pouco utilizadas pelo meio técnico mas já há muito em desenvolvimento pelo setor acadêmico.

Nos reservatórios de contenção de cheias, por exemplo, utiliza-se o conceito de redução do volume escoado superficialmente durante o pico de chuvas, mas o processo de infiltração é dado de forma mais ocasional e não há a preocupação com a remoção de sólidos ou de contaminantes e estes, se ocorrem, também são de maneira ocasional.

Um dos fatores preponderantes para a implantação das BMP's é a declividade do terreno. Em geral, estas medidas necessitam de terrenos com baixa declividade para propiciar melhor infiltração. Os pavimentos porosos e as valetas gramadas necessitam de declividades inferiores a 5%, por exemplo (SCHUELER, 1987).

Apresenta-se, a seguir, a estrutura proposta para as Medidas Estruturais de forma a adequar os conceitos já desenvolvidos em território nacional com as técnicas consolidadas internacionalmente, conforme apresentado no item 4. Ressalta-se, que se buscou simplificar as técnicas e diminuir a quantidade ao mínimo necessário visando facilitar seu emprego futuro.

Com base principalmente no cenário nacional, entende-se que a organização apresentada por BAPTISTA; NASCIMENTO e BARRAUD (2005) é mais adequada à proposta em curso, uma vez que divide as medidas estruturais em Bacias, Obras Lineares e Obras Pontuais. Observando esta divisão, nota-se que a proposta da EPA (2004) é similar, subdividindo em Reservatórios, Alagadiços, Infiltração, Biofiltros Vegetativos, Filtros e Outros.

Conforme apresentado no cenário internacional também podemos notar a separação de medidas destinadas ao controle do escoamento no lote. Em geral, tais técnicas pertencem a uma subdivisão chamada "Controle na Fonte", terminologia bastante apropriada.

A seguir é apresentado um quadro comparativo entre alguns autores e uma proposta baseada nos dados apresentados:

Tabela 5. Apresentação das Medidas Estruturais por diversos autores

Proposta		EPA (2004)	NVPDC (1996)	SMDU (2012)	TOMAZ (2009)	UDFCD (1992)
Grupo	Técnicas					
Controle na Fonte	Cisterna					
	Microrreservatório					
	Pavimento Permeável	Pavimento Poroso	Pavimento Permeável	Pavimento Poroso		
						Pavimento Poroso de Detenção
	Poço de Infiltração	Trincheira ou Poço de Percolação				
	Telhado Verde		Telhados Verdes	Telhados Verdes		
Controle Centralizado	Alagadiço	Bacia Alagadiça	Bacia ou Canal Brejoso	Alagadiços	Wetlands	Bacia de Alagadiço Construído
	Bacia de Detenção	Bacia de Detenção			Reservatório de Detenção Seco	Bacia de Detenção Estendida
					Reservatório de Detenção Estendido	
	Bacia de Retenção	Reservatório de Retenção	Bacia de Retenção		Reservatório de Retenção	Reservatório de Retenção
Controle Linear	Bacia de Infiltração	Bacia de Infiltração			Bacia de Infiltração	Bacia de Detenção Estendida com Filtro de Areia
	Canal/ Valeta Vegetada	Canal Alagadiço		Valetas Gramadas	Canal Gramado	Canal Gramado
	Faixa Gramada	Faixa Gramada Filtrante		Faixas Gramadas	Faixa de Filtro Gramado	Faixa Gramada
	Filtro de Areia		Meio Filtrante		Filtro de Areia	
	Jardim de Chuva		Biofiltro e Bioretenção	Jardim de Chuva	Filtro de Bioretenção	Paisagem Porosa de Detenção
	Trincheira de Infiltração				Trincheira de Infiltração	

Nos itens a seguir serão apresentadas as técnicas propostas com base no quadro acima.

TOMINAGA (2013) apresenta as técnicas de controle na fonte em:

- Trincheiras de Infiltração e Detenção;
- Poços de Infiltração
- Valas Vegetadas
- Pavimentos Porosos ou Permeáveis
- Telhados Armazenadores
- Jardins de Chuva

5.2.1 Controle na Fonte

As medidas de controle na fonte são técnicas previstas para a escala de lote, ou seja, técnicas para implantação localizada e de menor porte. Juntamente a estas técnicas podem ser empregados mecanismos legais tal como uma vazão de restrição para o lote, conforme proposta da SMDU (2012) com um limite de 25 L/s.ha

e observada por TOMINAGA (2013), onde aponta a legislação existente para o município de Porto Alegre, onde o limite é de 20,8 L/s.ha.

A imagem a seguir apresenta as técnicas de controle na fonte, ressaltando-se que não foi inserido o microrreservatório neste exemplo.

Figura 23. Controle na Fonte

Fonte: Adaptado de <http://www.seattle.gov/Images/OSE/GSI-infographic.jpg>

Acesso: 11/02/2014 às 20:27

5.2.1.1 Cisternas

As cisternas são reservatórios de águas pluviais ou degelo. Podem ser utilizados sobre o solo ou enterrados.

Estes reservatórios devem ser fechados para manter a qualidade da água, evitar sua evaporação ou a criação de insetos.

Nas regiões mais ao Sul de nosso país as cisternas são utilizadas, na maior parte dos casos, como um reservatório de águas pluviais para irrigação de jardins e alimentação de bacias sanitárias, por exemplo.

Já no semi-árido, as cisternas possuem a finalidade de reservação de água para consumo humano, porém a qualidade da água há que ser observada para permitir sua utilização com este intuito.

A Figura 24 apresenta uma cisterna enterrado para finalidade não potável.

Figura 24. Cisterna Enterrada

Fonte: <http://www.casosdecasa.com.br/index.php/dicas-uteis/cisternas-um-investimento-inteligente/>

Acesso em: 27/02/2014 às 20:34

5.2.1.2 Microrreservatório

A Lei do Município e Estado de São Paulo conhecida como “Lei das Piscininhas” foi uma forma de minimização do impacto das cheias, mas tampouco há a preocupação com infiltração, filtração ou retenção de sólidos, o que não invalida o caráter benéfico da Lei e um ponto de partida para inserção de novas técnicas. O que se busca não é adaptar a realidade brasileira às técnicas internacionais do passado e, neste sentido, as entidades internacionais de referência buscam, em grande parte de seus dispositivos a infiltração da água no solo, ao invés de somente retê-la.

Ressalta-se aqui a separação entre microrreservatórios e cisternas que, embora ambos tenham funções similares, entende-se que as cisternas são águas para reaproveitamento enquanto os microrreservatórios possuem a função de retenção.

A Figura 25 pode ser entendida como um microrreservatório que tem como objetivo retardar o escoamento, de acordo com a lei mencionada anteriormente.

Figura 25. Microrreservatório

Fonte: TOMINAGA, 2013

5.2.1.3 Pavimentos Permeáveis ou Reservatório

Os pavimentos porosos tem uma grande capacidade de remoção de finos e particulados oriundos do escoamento superficial e podem prover a recarga subterrânea. A Figura 26 apresenta um dos tipos de pavimento permeável utilizado em um estacionamento.

Figura 26. Pavimento Permeável

Fonte: <http://www.wsud.org/resources-examples/picture-gallery>

Acesso em 18/02/2014 às 10:29

5.2.1.4 Poços de Infiltração

Os poços de infiltração, também conhecidos por sumidouros, são aberturas em solo protegidas com manta geotêxtil para evitar o carreamento dos sólidos para seu interior, revestidas com pedra britada e coberta por pedras de menor diâmetro. Os poços de infiltração são dispositivos pontuais e dependem da capacidade de permeabilidade do solo e tipo de solo. Na Figura 27 pode-se observar um croqui esquemático de um poço de infiltração.

Figura 27. Poço de Infiltração

Fonte: Adaptado de GVS&DD, 1999

Embora seja uma técnica muito boa para recarga de aquíferos, e pela necessidade de uma pequena área para sua implantação, possui limitantes como a baixa capacidade de armazenamento, possibilidade de contaminação das águas subterrâneas e depende de manutenção para não perder a capacidade de infiltração devido à colmatção da manta e de seu interior.

Figura 28. Poço de Infiltração

Fonte: <http://building1120.com/2013/07/01/detention-and-infiltration-or-rain-water-and-you/>

Acesso em 14/09/2014 às 13:13

5.2.1.5 Telhados Verdes

Os telhados verdes são coberturas que recebem um recobrimento vegetal sobre camadas impermeabilizantes. Além de seu objetivo paisagístico e ambiental, o mesmo auxilia na captação e retenção de águas de chuva, manutenção da temperatura e propicia a criação de um ambiente propício para animais.

Figura 29. Telhados Verdes (Seção)

Fonte: Adaptado de <http://www.skygarden.com.br/br/>

Acesso em 06/09/2014 às 18:57

Um dos bons exemplos sobre telhados verdes é o do *Burnley Green Roof* desenvolvido pela Universidade de Melbourne, Austrália. Este telhado foi desenvolvido com o propósito de se pesquisar as espécies resistentes às mais variadas condições, variações de substrato, temperatura e retenção de chuva. Este telhado possui 166 m² e está localizado a 6,6 metros do solo. Foram utilizadas cerca de 203 diferentes espécies vegetais totalizando mais de 3.000 plantas. As imagens a seguir apresentam este telhado verde em fase de implantação e quando finalizado.

Figura 30. Telhados Verdes (Burnley Green Roof - Implantação)

Fonte: <http://thegirg.org/burnley-green-roof/>

Acesso em 06/09/2014 às 18:09

São 14 zonas de plantio na área com diferentes profundidades de substratos e exigências de irrigação. Os substratos variam a cada 5 cm de 10 a 30 cm e foram

utilizados vários materiais em sua composição desde escória de incineração, restos de telhas, fibras de coco, etc.

Embora seja uma das técnicas mais comentadas e em alta ainda encontra muita resistência para sua implantação quer seja por custo, carga sobre a estrutura, infiltração, manutenção e outros pontos que, mesmo com as novas técnicas desenvolvidas todos estes detalhes devem ser observados. A imagem a seguir apresenta um dos edifícios mais conhecidos do centro de São Paulo, o Copan, e os edifícios em seu entorno todos com os telhados verdes em uma simulação de como ficaria a região.

Figura 31. Telhados Verdes (Centro de São Paulo - Exemplo)

Fonte: <http://sacolaecologica.wordpress.com/2011/07/04/telhado-verde/>

Acesso em 06/09/2014 às 18:36

5.2.2 Controle Centralizado

As atividades de Controle Centralizado apresentam técnicas de empregabilidade pontuais. Caracterizam-se por ocuparem áreas com capacidade de reservação superior aos leitos dos cursos d'água e de baixa ou nenhuma declividade, visando auxiliar processo de sedimentação, infiltração, retenção e detenção.

As técnicas de controle centralizado foram assim agrupadas pois possuem características que as permite atuar em toda uma bacia ou somente em parte dela mas de uma forma mais ampla, principalmente devido às suas dimensões.

5.2.2.1 Alagadiços

Os Alagadiços ou *Wetlands*, como são chamados, constituem um tipo de ecossistema que passa significativa parte, ou toda parte do tempo, cobertos por água a pouca profundidade (LAUTENSCHLAGER, 2001; MITSCH e GOSSELINK, 1993). Os Alagadiços podem ser classificados em naturais ou construídos, de forma

e composição vegetal variada. A imagem a seguir apresenta um croqui esquemático de um alagadiço para auxiliar a compreensão deste tipo de solução.

Figura 32. Croqui esquemático de um Alagadiço (*Wetland*)

Fonte: Adaptado de http://myweb.rollins.edu/jsiry/wetlands_e.jpg.

Acesso em 17/02/2013 às 13:23

Os Alagadiços são áreas para promoção da melhoria da qualidade da água pois com o auxílio de espécies vegetais específicas, estas podem minimizar ou retirar a carga poluidora mas necessitam de grandes áreas, dependendo da carga a qual será submetida, motivo pelo qual torna-se mais apropriada às pequenas comunidades.

De acordo com NOVOTNY (2003), os alagadiços representam a transição entre a terra e água, podendo ser seca em alguns períodos ou submerso em outros, havendo o desenvolvimento de solos diferentes e vegetação única. A imagem a seguir apresenta alguns tipos de alagadiços.

Na imagem a seguir apresentam-se caracterizações básicas dos alagadiços sendo que, para o alagadiço raso há um nível d'água constante não havendo a previsão de uma retenção diferentemente do alagadiço de detenção estendido que prevê um nível d'água além de seu nível normal. O sistema alagadiço apresenta uma estrutura a montante da microbacia de forma a reter o maior volume e permitindo o controle do lançamento no alagadiço.

Figura 33. Tipos de Alagadiços

Fonte: Adaptado de GVS&DD (1999)

A Figura 34 apresenta um alagadiço em planta e corte para possibilitar o entendimento da estrutura.

Figura 34. Alagadiços (Wetlands)

Fonte: Adaptado de GVS&DD (1999)

MITSCH e GOSSELINK (1993) classificam os alagadiços e apresentam a nomenclatura pelo mundo em mais de 20 tipos de soluções e características. Eles afirmam ainda que os alagadiços são identificados como:

1. São distinguidos pela presença de água;
2. Apresentam solo diferenciado em relação às áreas adjacentes;
3. A vegetação é adaptada às condições de umidade e caracterizadas pela ausência de vegetação intolerante ao alagamento;
4. A lâmina d'água varia ao longo do ano ou não existe em alguns períodos;
5. São áreas que margeiam águas com profundidade e terras "secas", mas são afetadas por ambas;
6. Os alagadiços variam de áreas com poucos hectares a milhares de quilômetros.

5.2.2.2 Bacias de Detenção

As bacias de retenção são áreas de acumulação temporária de grandes volumes de água que auxiliam no amortecimento de cheias, sendo esta uma de suas principais funções além da redução da poluição difusa.

Em geral, ainda que não seja uma obrigatoriedade, as bacias de retenção são áreas secas e, em muitos casos, torna-se uma área com muitas finalidades, tais como: áreas verdes, projetos paisagísticos e áreas de lazer, quando em períodos de estiagem.

TUCCI *et al.* (1995) recomenda que o tempo de retenção seja próximo de 40 horas, visando maior eficiência na remoção de poluentes. Observa também que a área requerida para este tipo de bacia representa de 0,5 a 2% da área de contribuição. Segundo SCHUELER (1987), o tempo de retenção deve ser superior a 24 horas, podendo atingir 90% de remoção de poluentes.

As bacias de retenção também podem ser cobertas ou subterrâneas ou com espelhos d'água.

Pode-se considerar como pontos negativos da bacia de retenção os problemas estéticos, de odores, detritos e surgimento de mato, sendo necessária uma manutenção regular, com previsão de remoção de sedimentos, para que a mesma mantenha suas características de projeto.

Figura 35. Bacia de Detenção (Planta e Corte)

Fonte: Adaptado de GVS&DD (1999)

5.2.2.3 Bacias de Retenção

As bacias de retenção são áreas que possuem um espelho d'água permanente. As águas direcionadas para estes locais, prioritariamente só são lançadas a jusante por extravasores, quando a capacidade de projeto é excedida.

As bacias de retenção podem adotar um caráter mais paisagístico e de lazer, porém exigem áreas maiores que as bacias de detenção, pois possuem parte de seu volume já utilizado pelas águas.

As bacias de retenção são extremamente efetivas para a manutenção da qualidade das águas. Elas são capazes de remover uma alta taxa de sedimentos, nutrientes orgânicos, metais pesados e DBO. Contudo, podem degradar o habitat com odores, algas e resíduos sólidos, além da retenção de sedimentos.

Estas áreas devem ser bem planejadas por necessitarem de manutenção regular.

Figura 36. Bacia de Retenção (Planta e Corte)

Fonte: Adaptado de GVS&DD (1999)

5.2.2.4 Bacias de Infiltração

As bacias de infiltração assemelham-se às bacias de detenção, com diferenças no dispositivo de saída, possuindo um dreno de fundo e um extravasor para emergências. Este tipo de bacia é aplicável para regiões com solos permeáveis e lençol freático profundo.

Como vantagens, pode-se observar a preservação do balanço hídrico local, possibilidade de uso como bacia de sedimentação na fase de construção de loteamentos e custo reduzido comparado a outras BMPs. Como fatores negativos, pode citar a impossibilidade de aplicação em solos pouco permeáveis, necessidade de manutenção frequente e, como funciona para deposição, seu fundo não permite a utilização para práticas recreativas. Embora possua um custo mais convidativo, se

comparada a outras técnicas, esta possui uma taxa muito alta de falha para solos inadequados.

Figura 37. Bacia de Infiltração

Fonte: Adaptado de GVS&DD (1999)

5.2.3 Controle Linear

Os controles lineares são obras simples inseridas ao longo da área que se deseja atender. São obras que visam, prioritariamente, a redução de velocidade, retenção ainda que reduzida, remoção de poluentes e uma integração mais sutil e harmoniosa com uma área em urbanização. Estes tipos de controles possuem pouca capacidade individualmente, sendo interessante a utilização combinada destas técnicas.

5.2.3.1 Canais e Valetas Vegetadas

Os canais e valetas vegetadas podem ser bastante aplicados em pequenas escalas ou, como são comumente utilizadas em obras rodoviárias, por exemplo, em substituição às valetas e sarjetas de concreto. Porém, recomenda-se sua utilização somente em trechos com declividade máxima de 3%.

Figura 38. Canal Gramado

Fonte: Adaptado de GVS&DD (1999)

Observa-se na imagem acima que foi executado um canal gramado na saída de uma tubulação de drenagem. O canal é projetado, geralmente, para 10 anos, isso idealizando sua capacidade de suporta a vazão para este período de retorno mas a lâmina que se deve obter para que o mesmo funcione para a melhoria da qualidade da água deve ser menor. Este tipo de dispositivo é capaz de melhorar a quantidade Total de Sólidos em Suspensão e Fósforo Total.

A imagem a seguir apresenta uma combinação de técnicas com base nos canais gramados. A ideia neste caso é maximizar o tratamento e, neste caso, deve-se inserir barramentos de forma a reduzir ao máximo a velocidade de escoamento e conduzir as águas para que atravessem o alagadiço, antes de seguirem para jusante. Este mesmo barramento pode ser utilizado para permitir a implantação dos canais em áreas com maior declividade.

Figura 39. Canal Gramado Alagadiço com Barramento

Fonte: Adaptado de GVS&DD (1999)

5.2.3.2 Faixa Gramada

As faixas gramadas são inseridas com o intuito de desacelerar o escoamento superficial e para infiltração das águas advindas, por exemplo, de estacionamentos. Recomenda-se sua utilização, até pelo baixo custo, em toda e qualquer área sem revestimento, passível de erosão e carreamento de sólidos, auxiliando neste controle.

Figura 40. Faixa Gramada

Fonte: Adaptado de GVS&DD (1999)

5.2.3.3 Filtro de Areia

Os filtros de areia são valas preenchidas com areia com a finalidade de infiltração, principalmente para recarga dos aquíferos. Estes dispositivos devem ser tratados como complementares, tanto aos poços de infiltração como também para as trincheiras de infiltração, visando a melhoria da qualidade da água a ser conduzida para estes dispositivos.

5.2.3.4 Jardim de Chuva

Os jardins de chuva, também conhecidos como biorretenção, em geral são estruturas implantadas em centros urbanos entre a guia e o passeio e se utiliza de atividades biológicas de plantas e microorganismos para a remoção de poluentes. As águas do escoamento superficial são encaminhadas para o seu interior onde, preferencialmente, ocorre a infiltração e os processos de remoção de poluentes e, caso a capacidade seja excedida, este volume excedente é encaminhado diretamente para a rede de drenagem.

Figura 41. Jardim de Chuva

Fonte: <https://digbyhall120.wordpress.com/category/sustainable-water/>

Acesso em: 27/02/2014 às 21:30

TOMINAGA (2013) observa como vantagens a integração com o caráter paisagístico, valorizando o meio ambiente urbano, infiltração e retenção do

escoamento superficial, mas ressalta que pode ser implantado em logradouros de baixo fluxo de veículos pelo estreitamento do sistema viário para sua implantação (recomendável próximo à escolas para redução de velocidade dos veículos) e representa cerca de 5% da área da bacia atendida, em média, além de ser uma solução mais dispendiosa que outras medidas e necessita de manutenção regular.

5.2.3.5 Trincheiras de Infiltração e Detenção

As trincheiras de infiltração possuem configuração similar ao poço de infiltração, porém de forma linear. São valas preenchidas com material filtrante e, em seu interior, material com granulometria adequada (brita), de forma a permitir o rápido escoamento em seu meio e com vazios suficientes para reservação, até que ocorra a infiltração no solo. Como filtro, pode-se utilizar filtro de areia ou manta geotêxtil. As trincheiras podem ser cobertas ou não, dependendo de sua configuração com o arranjo paisagístico.

Este tipo de dispositivo não suporta altas vazões nem grandes aportes de sedimentos mas cuidado redobrado deve ser tomado para que não sejam lançadas cargas poluidoras como esgoto, por exemplo.

Seu uso é limitado em ambientes urbanos devido à cargas poluidoras não identificáveis, sendo bem aplicadas em áreas de estacionamentos. Recomenda-se que não sejam instaladas próximas a poços de captação de água para abastecimento.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi efetuada uma revisão bibliográfica de várias entidades ligadas ao assunto, sendo observada a origem do tema até a melhor técnica da atualidade e uma revisão sobre o material nacional, de forma a buscar uma equalização de nomenclatura e técnicas mais viáveis e mais aplicáveis à realidade brasileira.

Comparando o material técnico nacional com as estrangeiras, observou-se uma dispersão de terminologias que prejudicam o desenvolvimento das tecnologias, pois não haveria continuidade dos trabalhos de diferentes autores.

Com base em todas as informações elencadas, objetivou-se classificar as técnicas compensatórias não estruturais e, posteriormente as estruturais, sendo que foram considerados dados comparativos com 6 e 5 entidades, respectivamente.

Com base na classificação, foi determinada uma área de análise localizada no município de São Paulo, na região do Butantã, zona oeste da capital.

A escolha da área foi determinada pela obtenção de projeto de melhoria da rede de drenagem local devido aos constantes alagamentos na região. Tal projeto previu o adensamento da rede de drenagem local e aumento das galerias.

Foram escolhidos 3 (três) técnicas compensatórias (Telhados Verdes, Pavimento Permeável e Jardim de Chuva) a serem empregadas individualmente e depois combinadas de forma a verificar a redução da vazão por conta da implantação destes dispositivos.

6.1 Dados e Critérios de Projeto

A seguir são apresentados os elementos de projeto. Para análise comparativa foram utilizados os mesmos critérios de projeto, tanto quanto equações, vazões e divisões das bacias.

6.2 Localização da Área

A área de estudo localiza-se na região Oeste da cidade de São Paulo, região do entorno do Metrô Butantã. A área está confinada por três importantes vias da região, conforme descrito:

- Esquerda - Av. Vital Brasil;
- Acima - Rua Camargo;
- Direita - Av. Marginal do Rio Pinheiros.

A principal via da bacia, por onde foi projetada a galeria principal, é a Rua Romão Gomes. A imagem a seguir apresenta a área de estudo com a delimitação.

Figura 42. Delimitação da Bacia de Projeto

6.3 Critérios e Parâmetros

6.3.1 Intensidade Pluviométrica

O projeto utilizou as equações de chuvas intensas desenvolvidas por Martinez e Magni (1999) para a cidade de São Paulo, conforme apresentado a seguir:

$$i_{t,T} = 39,30147(t + 20)^{-0,92281} + 10,17667(t + 20)^{-0,87641} \left[-0,46532 - 0,84067 \times \ln \times \ln(T / T - 1) \right] (1)$$

Onde:

- i_t, T = intensidade da chuva, correspondente à duração “ t ” e período de retorno “ T ”, em mm/min;
- t = duração da chuva, em minutos;
- T = período de retorno, em anos.

6.3.2 Método Racional

A fórmula atualmente mais empregada para projeto de microdrenagem é do Método Racional, recomendada para bacias homogêneas e de pequenas dimensões. Representa-se pela seguinte equação:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A \cdot D}{6} \quad (2)$$

Onde:

- Q = vazão de pico (m^3/s);
- C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);
- I = intensidade média para a duração e recorrência consideradas (mm/min);
- A = área de contribuição (ha)
- D = coeficiente de distribuição da chuva.

Para:

- $A < 50$ ha $\rightarrow D = 1$
- $A > 50$ ha $\rightarrow D = 1 - 0,009 \cdot \frac{L}{2}$ onde L = comprimento do talvegue (em km)

Os valores do coeficiente de escoamento superficial (C) para emprego do Método Racional, foram orientados pelos dados da tabela apresentada a seguir.

Tabela 6. Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	C
Área totalmente urbanizada Urbanização futura	0,50 – 0,70
Área parcialmente urbanizada Urbanização moderada	0,35 – 0,50
Área preponderantemente de plantações, pastos etc. Urbanização atual	0,20 – 0,35

Fonte: PMSP/ SVP - Diretrizes de Projeto de Hidráulica e Drenagem Urbana - Vol. 4

Com base nas diretrizes da Prefeitura Municipal de São Paulo através do documento DP-H02, o coeficiente de escoamento superficial deve ser calculado em função do Período de Retorno do projeto, de acordo com a seguinte formulação:

$$C_T = 0,8 \cdot T^{0,1} \cdot C_{10} \quad (3)$$

Onde:

- C_T = coeficiente de escoamento superficial para o período de retorno T , em anos;
- C_{10} = coeficiente de escoamento superficial para o período de retorno de 10 anos.
- O coeficiente C_{10} é obtido diretamente da Tabela 6, e para o caso em estudo utilizou-se $C_{10} = 0,60$.

Para este estudo, adotou-se $TR = 25$, resultando em:

$$C_T = 0,8 \cdot 25^{0,1} \cdot 0,60 = 0,66$$

Cálculo idêntico deve ser realizado para determinação dos coeficientes para os outros períodos de retorno.

6.3.3 Período de Retorno

Para o projeto foi considerado um Período de Retorno de $TR = 25$ anos, mas como o objetivo é explorar algumas variáveis, utilizou-se os períodos de retorno $TR = 10, 25, 50$ e 100 anos.

6.3.4 Tempo de Concentração

O tempo de concentração é denominado o tempo de percurso da água desde o ponto mais distante da bacia hidrográfica até a seção de interesse. Após o tempo de concentração, toda a área da bacia estará contribuindo para o escoamento, desde que a duração da chuva excedente seja no mínimo igual ao tempo de concentração.

Para a determinação do tempo de concentração foi empregada a fórmula de Kirpich, apresentada a seguir.

$$tc = 57 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (4)$$

onde:

- tc = tempo de concentração, em min;
- L = comprimento do talvegue, em quilômetros;
- S = declividade equivalente, em metros por quilômetro, definido por $\Delta h/L$;
- Foi considerado um tc mínimo de 10 minutos em função da validade da equação de chuva.

6.4 Resultados do Projeto Original

A área abrangida pelo projeto original foi subdividida em 15 sub-bacias e apresenta na imagem abaixo 7 pontos de controle (letras A – G), conforme imagem a seguir.

Figura 43. Hidrologia - Divisão das Sub-bacias - Projeto Original

Com base na imagem anterior, são apresentados os dados do projeto original sobre os quais serão tecidos os comentários finais.

Tabela 7. Características Fisiográficas das Sub-bacias - Projeto Original

Seção	Bacia	CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS											
		Área (ha)	L (m)	Cota de Montante (m)	Cota de Jusante (m)	ΔH (m)	S (m/km)	tc - calc. (min)	tc- adotado (min)	C			
										10	25	50	100
A	2	0,48	116	724,00	721,40	2,60	22,41	3,28	10,00	0,60	0,66	0,71	0,76
B	1+2+3	1,84	265	724,40	720,90	3,50	13,21	7,59	10,00	0,60	0,66	0,71	0,76
C	1+2+3+4+5	3,43	315	724,40	720,60	3,80	12,06	8,98	10,00	0,60	0,66	0,71	0,76
D	1+2+3+4+5+ 6+7+8	6,75	355	724,40	720,40	4,00	11,27	10,11	10,11	0,60	0,66	0,71	0,76
E	1+2+3+4+5+ 6+7+8+9	6,97	430	724,40	720,30	4,10	9,53	12,49	12,49	0,60	0,66	0,71	0,76
F	1+2+3+4+5+ 6+7+8+9+10 +11+12	10,27	540	724,40	720,20	4,20	7,78	16,10	16,10	0,60	0,66	0,71	0,76
G	1+2+3+4+5+ 6+7+8+9+10 +11+12+13+ 14+15	13,24	705	724,40	719,40	5,00	7,09	20,48	20,48	0,60	0,66	0,71	0,76

Tabela 8. Cálculo das Vazões de Projeto

Seção	i (mm/min)					VAZÃO (m³/s)			
	Coef. Distribuição da Chuva - D	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
A	1,0	2,440	2,852	3,157	3,460	0,12	0,15	0,18	0,21
B	1,0	2,440	2,852	3,157	3,460	0,45	0,58	0,69	0,81
C	1,0	2,440	2,852	3,157	3,460	0,84	1,08	1,28	1,50
D	1,0	2,432	2,843	3,147	3,449	1,64	2,12	2,51	2,95
E	1,0	2,269	2,653	2,938	3,221	1,58	2,04	2,42	2,85
F	1,0	2,062	2,412	2,672	2,930	2,12	2,73	3,25	3,81
G	1,0	1,858	2,175	2,410	2,643	2,46	3,18	3,77	4,44

Ressalta-se que, para que fosse possível uma comparação entre o projeto e as soluções propostas, não foi efetuada qualquer alteração no projeto de forma a que as vazões são exatamente as mesmas encontradas no referido projeto.

7 ESTUDO DE CASO

O estudo baseou-se em um projeto real de readequação de uma rede de drenagem na região do Butantã, zona oeste da capital paulista. Para tanto, foram propostas três técnicas compensatórias para emprego na região.

7.1 Escolha das Técnicas Compensatórias

Os dispositivos definidos para o estudo foram determinados pelo local de implantação (lote ou área pública), área disponível e adequação à proposta quer seja ela de teor técnico ou paisagísticos.

Figura 44. Proposta de Utilização de Técnicas Compensatórias

Na imagem acima, temos:

Tabela 9. Áreas utilizadas pelas Técnicas Compensatórias

Técnica Compensatória	Área Utilizada (ha)
Jardim de Chuva	0,16
Pavimento Permeável	1,39
Telhado Verde	3,75

Foram considerados Jardins de chuva ao longo da Avenida Valdemar Ferreira, dentro da área de influência da bacia, telhados verde por toda a bacia e pavimento permeável nas áreas de estacionamento. Técnicas combinadas é a junção das três anteriores.

7.2 Determinação das Vazões do Estudo

Para determinação das vazões de estudo, admitiu-se a hipótese de que estes dispositivos serão desconectados da rede, ou seja, deixarão de contribuir. Inicialmente, calculou-se qual área desconectada no projeto existente, conforme segue.

- Área total da Bacia – $A = 13,24$ ha;
- Coeficiente inicial (TR_{10}) adotado – $C = 0,6$;
- Área Desconectada – $A_{Desc} = A_{total} \times (1-C) = 13,24 \times (1 - 0,6) = A_{desc} = 5,30$ ha

Com base nas áreas utilizadas para cada técnica compensatória, foram revistos os coeficientes de escoamento superficial, da seguinte:

Tabela 10. Determinação do Coeficiente de Escoamento Superficial

Técnica Compensatória	Área Utilizada (ha)	C
Jardim de Chuva	0,16	$C=1-(5,3+0,16)/13,24 = 0,59$
Pavimento Permeável	1,39	$C=1-(5,3+1,39)/13,24 = 0,49$
Telhado Verde	3,75	$C=1-(5,3+3,75)/13,24 = 0,32$
Técnicas Combinadas	5,30	$C=1-(5,3+5,30)/13,24 = 0,20$

De posse dos novos coeficientes para cada uma das técnicas e um coeficiente para o conjunto de técnicas, obtém-se os novos valores de vazão, conforme segue:

Tabela 11. Vazões - Jardim de Chuva

Seção	CARACTERÍSTICAS FISIográficas				i (mm/min)				VAZÃO (m³/s)			
	C				10 anos	25 anos	50 anos	100 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
	10	25	50	100								
A	0,59	0,65	0,70	0,75	2,440	2,852	3,157	3,460	0,12	0,15	0,18	0,21
B	0,59	0,65	0,70	0,75	2,440	2,852	3,157	3,460	0,44	0,57	0,68	0,79
C	0,59	0,65	0,70	0,75	2,440	2,852	3,157	3,460	0,82	1,06	1,26	1,48
D	0,59	0,65	0,70	0,75	2,432	2,843	3,147	3,449	1,61	2,08	2,47	2,90
E	0,59	0,65	0,70	0,75	2,269	2,653	2,938	3,221	1,56	2,01	2,38	2,80
F	0,59	0,65	0,70	0,75	2,062	2,412	2,672	2,930	2,08	2,69	3,19	3,75
G	0,59	0,65	0,70	0,75	1,858	2,175	2,410	2,643	2,42	3,13	3,71	4,36

Tabela 12. Vazões – Pavimento Permeável

Seção	CARACTERÍSTICAS FISIográficas				i (mm/min)				VAZÃO (m³/s)			
	C				10 anos	25 anos	50 anos	100 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
	10	25	50	100								
A	0,49	0,54	0,58	0,62	2,440	2,852	3,157	3,460	0,10	0,12	0,15	0,17
B	0,49	0,54	0,58	0,62	2,440	2,852	3,157	3,460	0,37	0,47	0,56	0,66
C	0,49	0,54	0,58	0,62	2,440	2,852	3,157	3,460	0,68	0,88	1,05	1,23
D	0,49	0,54	0,58	0,62	2,432	2,843	3,147	3,449	1,34	1,73	2,05	2,41
E	0,49	0,54	0,58	0,62	2,269	2,653	2,938	3,221	1,29	1,67	1,98	2,32
F	0,49	0,54	0,58	0,62	2,062	2,412	2,672	2,930	1,73	2,23	2,65	3,12
G	0,49	0,54	0,58	0,62	1,858	2,175	2,410	2,643	2,01	2,60	3,08	3,62

Tabela 13. Vazões - Telhado Verde

Seção	CARACTERÍSTICAS FISIográficas				i (mm/min)				VAZÃO (m³/s)			
	C				10 anos	25 anos	50 anos	100 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
	10	25	50	100								
A	0,32	0,35	0,38	0,41	2,440	2,852	3,157	3,460	0,06	0,08	0,10	0,11
B	0,32	0,35	0,38	0,41	2,440	2,852	3,157	3,460	0,24	0,31	0,37	0,43
C	0,32	0,35	0,38	0,41	2,440	2,852	3,157	3,460	0,45	0,58	0,68	0,80
D	0,32	0,35	0,38	0,41	2,432	2,843	3,147	3,449	0,88	1,13	1,34	1,57
E	0,32	0,35	0,38	0,41	2,269	2,653	2,938	3,221	0,84	1,09	1,29	1,52
F	0,32	0,35	0,38	0,41	2,062	2,412	2,672	2,930	1,13	1,46	1,73	2,03
G	0,32	0,35	0,38	0,41	1,858	2,175	2,410	2,643	1,31	1,70	2,01	2,37

Tabela 14. Vazões - Técnicas Combinadas

Seção	Bacia	CARACTERÍSTICAS FISIográficas				i (mm/min)				VAZÃO (m³/s)			
		C				10 anos	25 anos	50 anos	100 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
		10	25	50	100								
A	2	0,20	0,22	0,24	0,25	2,440	2,852	3,157	3,460	0,04	0,05	0,06	0,07
B	1+2+3	0,20	0,22	0,24	0,25	2,440	2,852	3,157	3,460	0,15	0,19	0,23	0,27
C	1+2+3+4+5	0,20	0,22	0,24	0,25	2,440	2,852	3,157	3,460	0,28	0,36	0,43	0,50
D	1+2+3+4+5+6+7+8	0,20	0,22	0,24	0,25	2,432	2,843	3,147	3,449	0,55	0,71	0,84	0,98
E	1+2+3+4+5+6+7+8+9	0,20	0,22	0,24	0,25	2,269	2,653	2,938	3,221	0,53	0,68	0,81	0,95
F	1+2+3+4+5+6+7+8+9+10+11+12	0,20	0,22	0,24	0,25	2,062	2,412	2,672	2,930	0,71	0,91	1,08	1,27
G	1+2+3+4+5+6+7+8+9+10+11+12+13+14+15	0,20	0,22	0,24	0,25	1,858	2,175	2,410	2,643	0,82	1,06	1,26	1,48

Abaixo segue tabela com as diferentes vazões, no qual é possível notar uma redução drástica na vazão da bacia, chegando a quase 3 m³/s em se tratando de TR = 100 anos.

Tabela 15. Quadro Geral de Vazões

Técnica	VAZÃO (m³/s)			
	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Projeto Original	2,46	3,18	3,77	4,44
Jardim de Chuva	2,42	3,13	3,71	4,36
Pavimento Permeável	2,01	2,60	3,08	3,62
Telhado Verde	1,31	1,70	2,01	2,37
Técnicas Combinadas	0,82	1,06	1,26	1,48

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo principal elencar as melhores práticas, levantando o que está sendo produzido, em termos técnicos, nos países de referência (EUA, Reino Unido e Austrália). Estes 3 representantes são os mais significativos mas cabe ressaltar que as técnicas chamadas BMPs podem ser consideradas como o início para todas as outras. É clara a referência a esta base, pois todos os detalhes e observações são muito semelhantes.

Ressalta-se que, mesmo sendo BMP o início, o Reino Unido não tardou e colocou em prática o SUDS, que é um estágio mais avançado e já levava em conta uma adequação das áreas em desenvolvimento em seu planejamento mas ainda está em evolução.

A Austrália apresenta a técnica mais apurada, dentre os pesquisados, com o WSUD. Nesta técnica, desenvolveu-se uma preocupação com a água, analisando todo o seu ciclo, inclusive prevendo a reutilização da água que antes seria descartada.

O Reino Unido está em plena carga, tentando levar seu SUDS até o patamar de um WSUD; os Estados Unidos possuem dois conceitos que, se combinados buscam o mesmo objetivo que o WSUD, chamados LID e o Green Infrastructure. Neste sentido, os dispositivos que possuem o prefixo “bio” (bioretenção, por exemplo) em seus nomes geralmente fazem parte deste novo conceito mas o mais consistente é realmente o Sistema Australiano.

Foram propostas aqui duas divisões consideradas praticamente unanimidade em todo o meio técnico, que é o tratamento das técnicas em estruturais e não estruturais. Neste sentido, há entidade que classifica os controles vegetativos (canal e valeta em grama, por exemplo) como medidas não estruturais.

Outro ponto que merece comentário é a classificação dos pavimentos permeáveis. BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD (2005) classificam os pavimentos como obras lineares e TOMINAGA (2013), classifica como uma medida de controle na fonte e, ainda que tanto uma quanto a outra façam sentido, a classificação de controle na fonte é mais aceitável devido às limitações de utilização destes revestimentos, tornando-os ótimos para estacionamentos mas de utilização não

recomendável para sistemas viários de grande fluxo e carga, onde seria classificado como linear.

Buscou-se aqui limitar ao máximo a quantidade de dispositivos existentes e equalizar as nomenclaturas de forma a tornar mais acessíveis estas técnicas.

Ainda há muito o que se desenvolver em relação ao tema, principalmente aqui no Brasil.

Quanto ao estudo de caso, embora este tenha sido elaborado de forma simplificada, já é possível ter uma ideia de utilização e aplicabilidade das técnicas. A redução da vazão pode realmente ser obtida mas, no estudo de caso admitiu-se, por exemplo, que todas as coberturas da bacia seriam transformadas em Telhados Verdes. Isso certamente é utopia, levantando-se a questão do que seria um cenário razoável. A intenção foi apresentar a condição máxima de aproveitamento com estas técnicas, chegando a uma redução entre 1,5 a 3 m³/s, uma redução muito significativa.

As imagens a seguir apresentam uma vista da solução proposta, implantada no local de interesse.

Figura 45. Vista do canteiro central da Av. Valdemar Ferreira

Figura 46. Vista do Jardim de Chuva ao longo da Av. Valdemar Ferreira

Deve-se observar que o fato de implementar estas técnicas, em muitos casos, não vai permitir a eliminação do sistema convencional.

Um dos pontos que mais chama a atenção é a preocupação geral na redução do pico de chuva mas também não há uma preocupação com a qualidade da água, tornando todo o processo mais barato e fácil se este começar dentro do lote.

A mudança cultural é um dos pontos chave para se levar adiante estas técnicas e é muito importante a parceria pública. As técnicas foram desenvolvidas e há material técnico para implantá-las mas é necessário que o corpo técnico nacional observe e proponha a utilização destas medidas.

Por fim, cabe ressaltar que, por melhor que seja a solução técnica, o apoio do poder público é fundamental, além de que se faz necessária a continuidade das políticas públicas tanto para a implementação quanto para a correta operação destes dispositivos pois devem ser previstos custos de manutenção dos mesmos visando seu correto funcionamento.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCE, Guide for Best Management Practices (BMP) Selection in Urban Developed Areas, ASCE - Environmental and Water Resources Institute, (2001), 51 p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 2005. 318 p.

BOTELHO, M. H. C. Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1985. 233 p.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CIRIA - Construction Industry Research and Information Association. Infiltration Drainage – Manual of Good Practice – Report 156. Londres, (1996).

CIRIA - Construction Industry Research and Information Association. The SUDS Manual. Londres, (2007)

DEP - Department of Environmental Protection. Pennsylvania Stormwater Best Management Practices. [S.l.: s.n.], 2006. 685 p.

EPA - Environmental Protection Agency. Stormwater Best Management Practice Design Guide: General Considerations. Washington, 2004. 179 p.

GCWWE - Water Environment Resources Foundation - Geosyntec Consultants Wright Water Engineers. Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. [S.l.], 2009. 355 p.

GIACCHINI, M. Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos. 2010. 144 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GVS&DD - Greater Vancouver Sewerage and Drainage District. Best Management Practices Guide For Stormwater. Vancouver, 1999. v. 1 , 251 p.

KAWATOKO, I. E. S. Estabelecimento de cenários de medidas estruturais e não estruturais para a gestão das águas urbanas. 2012. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

LAUTENSCHLAGER, S.R. Modelagem do desempenho de wetlands construídas. 2001. 90 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LIMA, V. C. G. R. Análise Experimental e Numérica de Trincheiras de Infiltração em Meio Não Saturado. 2009. 176 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MDE – Maryland Department of the Environment. Stormwater Design Manual. Maryland: 2000. 289 p.

MITSCH, W. J.; GOSSELING, J. G. Wetlands. 2ª ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993. 722 p. ISBN: 0-442-00805-8

MÜLLER, A. S. Aplicabilidade de medidas não-estruturais no controle de cheias urbanas: estudo de caso bacia hidrográfica do Rio Cachoeira - Joinville - SC. 2011. 235 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NCDENR - North Carolina Department of Environment and Natural Resources. Stormwater Best Management Practice Manual. [S.I.], 2007. 332 p.

NOVOTNY, V. Water quality: diffuse pollution and watershed management. 2ª ed. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2003. 864 p. ISBN: 0-471-39633-8

NVPDC - Northern Virginia Planning District Commission. Nonstructural urban BMP handbook. Virginia, 1996. 306 p.

"NVPDC - Northern Virginia Planning District Commission. Northern Virginia BMP Handbook: A Guide to Planning and Designing Best Management Practices in Northern Virginia. Annandale, 1992. 302 p."

NZWRF - New Zealand Water Environment Research Foundation. On-site Stormwater Management Guidelines. Wellington, 2004. 238 p.

PEIXOTO, V. C. Análise paramétrica e dimensionamento de poços de infiltração para fins de drenagem urbana. 2011. 111 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PINTO, L. L. C. A. O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano. 2011. 255 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RIZZO, M. R. A recomposição das matas ciliares - Um bom exemplo que vem de Pedro Gomes (MS). Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Três Lagoas (MS). Vol. 1, nº 6, p. 103 - 125, Nov. 2007. ISSN 1808-2653.

SANTOS, A. R. Enchentes e deslizamentos: causas e soluções - Áreas de risco no Brasil. São Paulo: Pini, 2012. 128 p. ISBN: 978-85-7266-258-1

SCHUELER, T. R. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington: Metropolitan Washington Council of Governments, 1987. 275 p.

SHEAFER, J. R. et al. Urban Storm Drainage Management. New York: Marcel Dekker, 1982. 271 p. ISBN: 0-8247-1351-6

SILVA, A. L. A Utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do Ribeirão da Estiva, SP. 2003. 158 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, C. V. F. Planejamento do Uso e Ocupação do Solo Urbano Integrado ao Mapeamento de Área com Risco de Inundação. 2013. 164 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SMDU - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem urbana e manejo de águas pluviais - Aspectos tecnológicos: diretrizes para projetos. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2012. v.3, cap. 1.4, p. 111-122

SMDU - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem urbana e manejo de águas pluviais - Aspectos tecnológicos: fundamentos. São Paulo: Prefeitura de São Paulo, 2012. v.2, cap. 3-5, p. 133-214

TOMAZ, P. BMPs - Best Management Practices. [S.l.: s.n.] , 2009. 185 p. ISBN: 85-905933-4-7

TOMAZ, P. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. 2ª ed. São Paulo: Navegar Editora, 2011. 592 p.

TOMAZ, P. Critério unificado para manejo das águas pluviais em áreas urbanas. [S.l.: s.n.], 2007. 323 p. ISBN: 85-905933-3-9

TOMAZ, P. Curso de manejo de águas pluviais. [S.l.: s.n.], 2009. 1420 p. ISBN: 85-905933-3-9

TOMINAGA, E. N. S. Urbanização e Cheias - Medidas de Controle na Fonte. 2013. 137 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TUCCI, C. E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Brasília: Ministério das Cidades, 2006. v. 4, 194 p. ISBN: 978-85-60133-35-2

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. Drenagem Urbana. 1ª ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/ UFRGS, 1995. 428 p. ISBN: 85-7025-364-8

UDFCD - Urban Drainage and Flood Control District. Urban Storm Drainage Criteria Manual. Vol. 3 - Best Management Practices. Edição revisão em novembro de 2007. Denver: Urban Drainage and Flood Control District, 2007. 477 p.

URBONAS, B. R. Protecting our receiving water with BMP's. AWRA - Water Resources Impact. Vol. 3, nº 6, p. 3 - 6, Nov. 2001. ISSN 1522-3175.

VIRGILIIS, A. L. C. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias . 2009. 191 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

WALESH, S. G. Urban Surface water management. 1ª ed. [S.l.]: John Wiley and Sons, Inc., 1989. 518 p. ISBN: 0-471-83719-9