

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE
SISTEMAS DE DRENAGEM**

DÉBORA SILVA DE BRITO

ORIENTADOR: NÉSTOR ALDO CAMPANA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS
BRASÍLIA/DF**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE
SISTEMAS DE DRENAGEM**

DÉBORA SILVA DE BRITO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.

APROVADA POR:

**PROF. NÉSTOR ALDO CAMPANA, DOUTOR (ENC-UnB)
(Orientador)**

**PROF. RICARDO SILVEIRA BERNARDES, DOUTOR (ENC-UnB)
(Examinador Interno)**

**PROF. ANTÔNIO MAROZZI RIGHETTO, DOUTOR (CT-UFRN)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA/DF, 26 DE MAIO DE 2006.

FICHA CATALOGRÁFICA

BRITO, DÉBORA SILVA DE

Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem

xiv, 117p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2006). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Drenagem urbana

2. Técnicas compensatórias

3. Indicadores

I. ENC/FT/UnC

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRITO, D. S. (2006). *Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-094/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Brasília, Brasília, DF, 117p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Débora Silva de Brito

TÍTULO: Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem.

GRAU: Mestre

ANO: 2006.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Débora Silva de Brito
Rua 55, nº 371, Centro
71691-018 São Sebastião – DF
Endereço:deborabrito@unb.br

RESUMO

METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE DRENAGEM

Autor(a) : Débora Silva de Brito

Orientador: Néstor Aldo Campana

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Brasília, Maio, 2006

O desenvolvimento urbano tem sido acompanhado por constantes mudanças no meio ambiente. Especialmente no ciclo hidrológico essas mudanças acarretaram impactos como o aumento do escoamento superficial e a ocorrência de enchentes.

Os sistemas de drenagem surgiram para contornar o problema das enchentes. O sistema clássico, seguindo um conceito higienista funciona pela rápida evacuação das águas urbanas, transferindo o problema das enchentes para jusante. Atualmente, outras técnicas vêm sendo inseridas nos projetos de drenagem, as conhecidas como técnicas compensatórias, justamente por reproduzirem as condições de pré-urbanização, além de proporcionarem outras vantagens. São exemplos dessas técnicas as bacias de retenção, pavimentos porosos, trincheiras, poços de infiltração, telhados armazenadores, etc.

A multiplicidade de técnicas e a possibilidades de diversos arranjos de alternativas de projeto tornou complexa a tarefa do decisor na concepção de sistemas de drenagem. Nesse sentido fica claro observar a necessidade de comparar as diferentes opções possíveis de projeto, considerando os mais diversos critérios, tais como econômico, hidrológico, ambiental, etc.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para a seleção de alternativas de sistemas de drenagem urbana. Em busca da formulação dessa metodologia, foram definidos seis critérios e propostos dez indicadores relacionados a esses critérios. Para a comparação das alternativas de projeto por meio de indicadores aplicou-se o método multicritério da Programação de Compromisso.

A metodologia proposta foi aplicada a um estudo de caso, envolvendo três alternativas de sistemas de drenagem distintas, com a utilização do sistema clássico e sistema intermediário, que englobava o sistema clássico e as técnicas compensatórias.

Os resultados demonstraram que as alternativas mais recomendadas, segundo os indicadores propostos, são as que envolvem as técnicas compensatórias de drenagem.

ABSTRACT

METODOLOGY FOR THE SELECTION OF DRAINING SYSTEMS ALTERNATIVES

Author: Débora Silva de Brito

Supervisor: Néstor Aldo Campana

**Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
Brasília, May of 2006.**

The urban development has been followed by constant changes in the environment. Especially in the hydrologic cycle those changes had caused impacts as the increase of the superficial drainage and flood occurrence.

The drainage systems had appeared to solve the problem of floods. The classic system, following a hygienist concept works through the fast evacuation of urban waters, transferring flood problems to ebb. Currently, others techniques have being added in the drainage projects, such as the compensatory techniques. Those techniques have been used to reproduce the pre-urbanization conditions. Some examples of those techniques are: detention basins, porous pavements, trenches, infiltration wells, roofs, etc.

The multiplicity of techniques and the several possibilities of arrangements in project alternatives turn the drainage systems conception process very complex. In this direction it is important to observe the necessity of compare the different possible project options, considering criteria, such as the economic, hydrologic, environmental and others.

This work aims to develop a methodology for the selection of urban drainage systems alternatives. In search for the creation of this methodology, six criteria were defined and ten indicators related to these criteria were proposed. For the comparison of the project alternatives using the indicators the Compromise Programming multicriteria method was applied.

The proposal methodology was applied to a case study, which used three different alternatives of drainage systems. In the study was used the classic and intermediate system that embody the classic system and the compensatory techniques. The results demonstrated that the best alternatives, according to the proposal indicators are those that involve the drainage compensatory techniques.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pela força em todos os momentos de minha vida.

Ao professor Néstor Aldo Campana, que me orientou para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos meus pais pelo carinho e apoio incondicional.

A minha pequena grande amiga Andréia Fagundes, que dividiu os piores e os melhores momentos vividos no curso; muito tranqüila, me mostrava sempre o lado bom das coisas.

A amiga Jussanã Milograna, uma das pessoas que conseguia me deixar sempre à vontade mesmo diante de minhas dúvidas mais banais.

Aos colegas Leonardo Castro, Priscilla Moura, Férrnan Vergara e Gustavo Lima pelo auxílio e pelos materiais fornecidos.

Aos meus colegas de sala, José Ricardo, Bianca, Jailma e Simone, pelos agradáveis momentos compartilhados.

Aos colegas de turma Ana Elisa Melo, Cláudia Marques, Cristina Bicalho, Deborah Veras, Edson Brigagão, Flávia Amorim, José Gabriel, Marco de Vito, Rafael Esteves e Renata Sâmia, pelos momentos de estudo compartilhados.

Aos professores do PTARH-UnB, pelos ensinamentos transmitidos.

Ao CNPQ, pela bolsa concedida em 12 meses de pesquisa.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS	3
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 - IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO	4
3.1.1 - Aumento do escoamento superficial	5
3.1.2 - Enchentes urbanas	6
3.1.3 – Degradação da qualidade da água	6
3.2 MEDIDAS DE CONTROLE	7
3.3 – TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS OU SISTEMAS ALTERNATIVOS DE DRENAGEM	8
3.3.1- Bacias de detenção	10
3.3.2- Pavimentos com estruturas de reservação	14
3.3.3- Poços de infiltração	17
3.3.4- Telhados armazenadores	19
3.3.5- Trincheiras	21
3.3.6- Valas e valetas	23
3.4- METODOLOGIAS PARA A AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO	25
3.4.1- Análise de critério único	26
3.4.1 - Análise custo-benefício	26
3.4.2 - Análise custo-efetividade	27
3.4.3 - Análise risco-benefício	27
3.4.2 - Abordagem multicritério	28
3.4.2.1 - Classificação dos Métodos	29
3.4.2.2 – Aplicações	33
3.5- INDICADORES COMO PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO.....	36
3.5.1 – Indicadores em drenagem urbana	38
3.6 - CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM	43
3.6.1- Estudos preliminares para a implantação de projetos de drenagem	44
3.6.1.1 – Critério Físico	47
3.6.1.2 – Critério Hidrológico	48

3.6.1.3 – Critério Hidráulico	48
3.6.1.2 – Critério Econômico	49
3.6.2- Impactos causados pela urbanização no ciclo hidrológico.....	50
3.6.2.1 – Critério Ambiental	55
3.6.2.2 – Critério Social	56
4 - METODOLOGIA	57
4.1 – PROPOSIÇÃO DE INDICADORES PARA A AVALIAÇÃO DE	
SISTEMAS DE DRENAGEM	58
4.1.1 – Critério Físico	59
4.1.2 – Critério Hidrológico.....	60
4.1.3 – Critério Hidráulico	62
4.1.4 – Critério Econômico	62
4.1.5 – Critério Ambiental	63
4.1.6 – Critério Social	67
4.2 – MÉTODO MULTICRITÉRIO.....	73
5 - ESTUDO DE CASO	75
5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	75
5.2 – ALTERNATIVAS ESTUDADAS	78
5.3 – RESULTADOS	85
6 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	87
7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
APÊNDICES	99
A - DADOS DE CONSUMO DE ÁGUA	100
B - MEMORIAL DE CÁLCULO DOS LIMITES MÁXIMO E MÍNIMO DOS	
INDICADORES	101
C - DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA CIDADE DE GOIÂNIA	107
D- MEMORIAL DE CÁLCULO DOS VOLUMES DEMANDADO E	
ARMAZENADO NA ÁREA DE ESTUDO CONFORME A	
ALTERNATIVA.....	108
E - DADOS DA ÁREA DE ESTUDO	109
F - TABELAS DE RESULTADOS DOS INDICADORES E VALORES DE	
LP E RESPECTIVAS ANÁLISES DE SENSIBILIDADE	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Causas e efeitos da urbanização (Fendrich, 1999 <i>apud</i> Milograna, 2001).....	4
Tabela 3.2	Vantagens e desvantagens das bacias e retenção (Certu, 1998).....	13
Tabela 3.3	Vantagens e desvantagens dos pavimentos com estrutura e reservação.	15
Tabela 3.4	Vantagens e desvantagens dos poços de infiltração	19
Tabela 3.5	Vantagens e desvantagens dos telhados armazenadores.....	20
Tabela 3.6	Vantagens e desvantagens das trincheiras.....	22
Tabela 3.7	Vantagens e desvantagens das valas e valetas	25
Tabela 3.8	Trabalhos com aplicações de técnicas multiobjetivo a casos nacionais (Adaptado de Barbosa, 1997).....	34
Tabela 3.9	Indicadores propostos por Castro (2002).....	42
Tabela 3.10	Taxa de redução de poluentes do escoamento superficial (Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999).....	52
Tabela 3.11	Taxa de redução média dos poluentes do escoamento superficial (Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999).....	52
Tabela 4.1	Crítérios e principais variáveis consideradas quando da avaliação de sistemas de drenagem urbana.....	58
Tabela 4.2	Valores atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a porcentagem de redução.....	65
Tabela 4.3	Resumo dos critérios levantados e indicadores propostos.....	72
Tabela 5.1	Dados das variáveis das alternativas de drenagem estudadas.....	81
Tabela 5.2	Indicadores calculados para as alternativas estudadas.....	84
Tabela 5.3	Indicadores calculados para as alternativas estudadas, com escala corrigida.....	84
Tabela 5.4	Indicadores e valor de Lp da alternativa I.....	85
Tabela 5.5	Indicadores e valor de Lp da alternativa II.....	85
Tabela 5.6	Indicadores e valor de Lp da alternativa III.....	86
Tabela 5.7	Ordenação das alternativas segundo a análise multicritério	86
Tabela 6.1	Tabela de ordenação das alternativas com aumento de 1 e 2 pontos nos pesos dos indicadores em cada critério e respectivos valores de Lp.....	88
Tabela 6.2	Tabela de ordenação das alternativas com redução de 1 e 2 pontos nos pesos os indicadores em cada critério e respectivos valores de Lp.....	88

Tabela A.1	Consumo de água por habitante nas regiões brasileiras (SABESP, 2005)	100
Tabela A.2	Estimativa de consumo pra uma pessoa com mudanças de hábitos de consumo (SABESP, 2005)	100
Tabela B.1	Limites do indicador de alterações no meio físico	101
Tabela B.2	Limites do indicador de Aumento/Redução do tempo ao pico	101
Tabela B.3	Limites do indicador de Redução/Aumento da vazão pico	102
Tabela B.4	Limites do indicador de Risco	102
Tabela B.5.a	Limites do índice de Custo	102
Tabela B.5.b	Limites do índice de Custo.....	103
Tabela B.6	Exemplos de valores de custos de alternativas	103
Tabela B.7	Limites do indicador de impactos no meio ambiente.....	103
Tabela B.8	Porcentagem de redução média dos poluentes do escoamento superficial (Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999)	104
Tabela B.9	Valores atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a porcentagem de redução	104
Tabela B.10	Exemplos de cálculo do IQA com as estruturas estudadas por UDFCD (1999) e casos hipotéticos para verificação dos limites do IQA	104
Tabela B.11	Limites do indicador de Redução/Aumento das áreas de recreação e lazer	105
Tabela B.12	Limites do indicador de Redução/Aumento do número de doentes	105
Tabela B.13	Limites do indicador de Possibilidade de aproveitamento das águas pluviais	105
Tabela B.14	Tabela B.14 – Indicadores propostos, fórmulas e limites.	106
Tabela C.1	Área total, área permeável, área impermeável, área verde e área de lazer da região de estudo.....	107
Tabela C.2	Áreas das quadras, área impermeável e total de área permeável por quadra	108
Tabela C.3	Áreas das quadras, área permeável das quadras, área dos reservatórios na quadra e área permeável das quadras após a implantação dos reservatórios.....	109
Tabela C.4	Área impermeável, área verde e área de recreação e lazer para a alternativa I.....	110

Tabela C.5	Área impermeável, área verde e área de recreação e lazer para a alternativa II.....	110
Tabela C.6	Área impermeável, área verde e área de recreação e lazer para a alternativa III.	111
Tabela D.1	Precipitação (mm) da cidade de Goiânia – 1999 a 2004 (SIMEGO, 2006)	112
Tabela E.1	Volumes armazenado e demandado nas alternativas I e II e respectivos I _{SO3}	113
Tabela F.1	Resultados de indicadores e valor de L _p com pesos iguais a 3	114
Tabela F.2	Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério físico	115
Tabela F.3	Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério hidrológico	115
Tabela F.4	Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério hidráulico	115
Tabela F.5	Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério econômico	115
Tabela F.6	Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério ambiental	116
Tabela F.7	Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério social	116
Tabela F.8	Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério físico	116
Tabela F.9	Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério hidrológico	116
Tabela F.10	Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério hidráulico	117
Tabela F.11	Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério econômico	117
Tabela F.12	Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério ambiental	117
Tabela F.13	Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério social	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Representação de uma Bacia de infiltração (Urbonas e Stahre, 1993)....	13
Figura 3.2	Exemplo de bacia de retenção seca (CETE DU SUD-OUEST, 2003)...	14
Figura 3.3	Exemplo de bacia de retenção com água (Pompêo, 1998)	14
Figura 3.4	Arranjos de pavimentos com estrutura de reservação (Azzout <i>et al.</i> 1994)	16
Figura 3.5	Exemplo de pavimento permeável (CETE DU SUD-OUEST, 2003)	16
Figura 3.6	Perfil de um poço de infiltração (Batista, 2006)	18
Figura 3.7	Poço de infiltração em área de recreação (Batista, 2006)	18
Figura 3.8	Esquema de um telhado armazenador (Castro, 2002)	20
Figura 3.9	Esquema de telhado armazenador inclinado (CETE DU SUD-OUEST, 2003)	20
Figura 3.10	Esquema de uma trincheira de infiltração (Souza, 2002).....	22
Figura 3.11	Exemplo de uma trincheira de infiltração (CETE DU SUD-OUEST, 2003).....	22
Figura 3.12	Perfil de uma vala de infiltração (Urbonas e Stahre, 1993).....	24
Figura 3.13	Exemplo de vala de infiltração (Certu, 1998)	24
Figura 5.1	Localização da cidade de Goiânia	75
Figura 5.2	Bacia do Córrego Vaca Brava (Milograna, 2001)	76
Figura 5.3	Bacia do Córrego Vaca Brava com destaque na área de estudo (Milograna, 2001)	77
Figura 5.4	Área de estudo – Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia (MUBDG) (Prefeitura Municipal de Goiânia)	78
Figura D.1	Gráfico de distribuição média da chuva nos anos	112
Figura D.2	Gráfico da média mensal das chuvas nos anos de 1999 a 2004	112

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

UnB	Universidade de Brasília
CNPQ.....	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
PTARH	Programa de Pós graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos
k_i	Constante de troca para o atributo i
$u_i(x_i)$	Função de utilidade multiatributo do atributo i
ELECTRE.....	Elimination et Choice Translatin Reality
NOVACAP.....	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
UDFCD.....	Urban Drainage and Flood Control District
BMP.....	Best Management Practices
TSS	Sólidos suspensos totais
TP	Fósforo total
TN	Nitrogênio total
TPb	Chumbo total
TZ	Zinco total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
N/A	Não avaliado
I_f	Indicador de alterações físicas
$A_{imp,1}$	Porcentagem de área impermeável antes da implantação do sistema de drenagem
$A_{imp,2}$	Porcentagem de área impermeável após a implantação do sistema de drenagem
I_{H1}	Indicador de aumento ou redução do tempo ao pico
T_{p1}	Tempo ao pico antes da implantação do sistema de drenagem.
T_{p2}	Tempo ao pico após a implantação do sistema de drenagem.
I_{H2}	Indicador de aumento ou redução da vazão de pico
Q_{p1}	Vazão de pico antes da implantação do sistema de drenagem.
Q_{p2}	Vazão de pico após a implantação do sistema de drenagem.
I_R	Indicador de risco da obra
T_R	Tempo de retorno adotado
T_{RD}	Tempo de retorno desejável
I_{CK}	Índice de custo referente a alternativa K
k	alternativa em análise
C_K	custos da alternativa K

nt	.....	número de alternativas
EIA	.....	Estudo de Impacto Ambiental
I _A	.....	Indicador de impactos no meio ambiente
A _{verde1}	.....	Área verde antes da implantação do sistema de drenagem
A _{verde2}	.....	Área verde após a implantação do sistema de drenagem
IQA	.....	Indicador de qualidade das águas
I _{SO1}	.....	Indicador de criação ou supressão de áreas de lazer
A _{re1}	.....	Área de recreação e lazer antes da implantação do sistema de drenagem
A _{re2}	.....	Área de recreação e lazer após a implantação do sistema de drenagem
I _{SO2}	.....	Indicador de aumento ou redução do número de doentes
D ₁	.....	Número de doentes antes da implantação do sistema de drenagem
D ₂	.....	Número de doentes após a implantação do sistema de drenagem
I _{SO3}	.....	Indicador de possibilidade de aproveitamento da água pluvial armazenada
V _{arm.}	.....	Volume armazenado
A _c	.....	Área de captação
P	.....	altura média anual/mensal de chuva
C	.....	Coefficiente de escoamento
V _{dem.}	.....	Volume demandado pela cidade, região ou localidade
ha	.....	hectare – equivalente a 10.000 m ²
m ²	.....	metro quadrado
m ³	.....	metro cúbico
s	.....	segundo
min	.....	minuto
f*	.....	vetor com os melhores valores em cada critério
f**	.....	vetor com os piores valores em cada critério
λ _i	.....	pesos dos critérios
MUBDG	.....	Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia
RBRH	.....	Revista Brasileira de Recursos Hídricos
UFRGS	.....	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

1- INTRODUÇÃO

A população urbana tem crescido num ritmo muito acelerado nos últimos anos. Esse crescimento foi responsável por significativos impactos ambientais especialmente verificados em alterações no ciclo hidrológico e no destino das águas pluviais.

Até algum tempo, os sistemas de drenagem normalmente utilizados foram aqueles conhecidos hoje como sistemas clássicos, que eram concebidos de forma a afastar rapidamente as águas pluviais das cidades, de modo a evitar enchentes e inundações. Porém com a evolução e desenvolvimento urbano, esses sistemas mostraram limitações na eficiência hidráulica, além de negligenciarem os aspectos de qualidade da água. Nesse contexto, surgiram as técnicas compensatórias ou alternativas, que são técnicas de drenagem que trabalham com estratégias de retenção e/ou infiltração, procurando reproduzir as condições de pré-urbanização. Essas técnicas apresentam diversas vantagens em relação à solução clássica não só em termos quantitativos pela redução das vazões a jusante, mas também em termos qualitativos, colaborando com a melhoria da qualidade das águas superficiais.

Com o surgimento das técnicas compensatórias e a evolução dos sistemas clássicos de drenagem, considerando os variados efeitos causados pela implantação de um e/ou outro sistema, além da multiplicidade de arranjos de projeto possíveis, a escolha e a concepção de projetos de drenagem tornou-se uma tarefa complexa, exigindo do agente decisor que sejam considerados vários critérios, não só o técnico de eficiência hidráulica, mas também os critérios econômico, ambiental, social e etc.

Em drenagem urbana, atualmente, estudos estão sendo desenvolvidos na busca de índices e indicadores para a solução de problemas decisórios. Isso porque indicadores são instrumentos de auxílio a decisão que têm a finalidade de prover informações a respeito do problema permitindo assim novos conhecimentos, visando o melhoramento da qualidade de vida em dimensão social e ambiental. Contribuem, portanto, para a realização de previsões e para a orientação de políticas específicas e temporais de ações públicas (Batista *et al.* 2005).

O presente trabalho pretende contribuir para a formulação de uma metodologia que permita a avaliação e seleção de alternativas de sistemas de drenagem urbana, de modo que sejam considerados diversos critérios como o técnico, hidrológico, social, ambiental, econômico, entre outros que se fizerem necessários, utilizando-se para tanto da proposição de um conjunto de indicadores e do uso de metodologias multicritério.

O texto está estruturado em sete capítulos, incluindo essa introdução. O capítulo dois apresenta os objetivos geral e específicos. No capítulo três é feita uma ampla revisão bibliográfica incluindo temas como técnicas compensatórias de drenagem, metodologia para avaliação de alternativas de projeto, critérios para a avaliação de sistemas de drenagem, além de produções científicas relacionadas aos referidos temas.

No capítulo quatro é proposta a metodologia por meio de indicadores relacionados aos critérios levantados. No capítulo cinco a metodologia proposta é aplicada a um estudo de caso. O capítulo seis apresenta a análise de sensibilidade e discussão dos resultados dessa aplicação. E finalmente, no capítulo sete, são apresentadas as conclusões gerais do trabalho além de recomendações para pesquisas futuras.

2- OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo elaborar uma metodologia para a seleção de alternativas de sistemas de drenagem urbana, com base em critérios hidráulicos, hidrológicos, econômicos, sociais, entre outros.

Em termos específicos o trabalho terá como objetivos:

- Realizar um levantamento dos principais critérios utilizados na concepção e avaliação de sistemas de drenagem urbana;
- Propor indicadores segundo os critérios levantados que permitam avaliar alternativas de sistemas de drenagem urbana;
- Aplicar a metodologia proposta a um estudo de caso, a título de exemplificação da metodologia.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

O crescimento das cidades e o desenvolvimento urbano, quando devidamente planejados, representam avanços tecnológicos e proporcionam benefícios na infra-estrutura de determinado local. Porém, a ausência ou o mau planejamento das cidades pode causar impactos negativos, especialmente no que diz respeito ao destino das águas pluviais.

O processo de urbanização traz notáveis modificações no uso e ocupação do solo. Dessas modificações, as principais respostas são sentidas nas características hidrológicas locais, cujos efeitos mais evidentes estão no aumento do escoamento superficial e na diminuição da infiltração.

Tucci (1994) aponta como principais efeitos da urbanização o aumento da vazão máxima, antecipação do tempo ao pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

Como causa desses efeitos ou impactos negativos, pode-se destacar o aumento da impermeabilização das superfícies. Outros efeitos da urbanização são apontados por Fendrich, (1999) *apud* Milograna (2001), conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Causas e efeitos da urbanização sobre o escoamento superficial
(Fendrich 1999 *apud* Milograna, 2001).

Causas	Efeitos
Impermeabilização	Maiores picos de vazões
Revestimentos das redes de drenagem	Maiores picos a jusante
Geração de resíduos sólidos urbanos	Entupimento das galerias e degradação da qualidade da água
Implantação de redes de esgoto sanitário deficientes	Degradação da qualidade da água e moléstias de veiculação hídrica nas inundações
Desmatamentos e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes; maior erosão; assoreamento em galerias e canais
Ocupação das várzeas e fundos de vale	Maiores picos das vazões; maiores prejuízos; moléstias de veiculação hídrica; maiores custos de utilidades públicas

Tucci (2002) aponta outros impactos em decorrência da urbanização que são:

- Aumento das vazões máximas e de sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- Aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo);
- Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal ao pluvial e contaminação de aquíferos;

O crescimento desordenado da população urbana acrescenta ainda os problemas de falta de planejamento adequado no que se refere às instalações de sistemas de esgotos sanitário e pluvial e a inexistência de restrições quanto à ocupação das áreas de risco quando da formulação dos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano. Esses problemas culminam invariavelmente no aumento do escoamento superficial pelas mais variadas causas e, conseqüentemente, na ocorrência de enchentes urbanas.

3.1.1- Aumento do escoamento superficial

O escoamento superficial é uma das parcelas do ciclo hidrológico na bacia urbana que tem maior significado no dimensionamento e controle da drenagem pluvial, estando sujeito ao tipo de cobertura do solo e da sua taxa de infiltração.

A impermeabilização das superfícies que ocorre por meio da construção de edifícios e pavimentação das ruas, passeios e outros dificulta ou impede que ocorra a infiltração e o armazenamento natural do conteúdo de água das chuvas no perfil do solo, causando aumento no escoamento superficial. Em conseqüência disso, as dimensões das tubulações, antes projetadas para determinado volume de escoamento, passam a ser consideradas ineficientes.

Ademais, o carreamento de resíduos pelo escoamento superficial causa entupimento e degradação dos elementos da microdrenagem, contribuindo ainda mais para a ocorrência de enchentes ou acumulação de águas pluviais.

3.1.2- Enchentes urbanas

A chuva é um fenômeno natural sazonal conhecido como a mais comum espécie de precipitação. A água da chuva é responsável pela manutenção dos cursos d'água, contribuindo para o escoamento superficial de uma bacia hidrográfica.

O excedente de precipitação, aliado ao crescente desenvolvimento urbano e a conseqüente impermeabilização das superfícies é normalmente a causa das enchentes urbanas.

As enchentes, regra geral, ocorrem quando, pelo uso e ocupação do solo, a capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo é reduzida. Embora seja um grave problema na área urbana, pode ocorrer também em ambientes não urbanizados como é o caso das enchentes ribeirinhas que, conforme citado por Tucci (1994), é um processo natural em que o rio ocupa o leito maior quando da ocorrência de eventos chuvosos extremos, em média com tempo de retorno superior a dois anos.

Com o desmatamento e a construção de edifícios, ruas, calçadas, pátios, etc, a parcela de precipitação que ficava retida pelas plantas, bem como a que infiltrava lentamente no perfil do solo passa a escoar pelos condutos exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

Especialmente nas áreas urbanas as enchentes constituem um problema que vem tomando enormes proporções, incluindo prejuízos econômicos pela perda de objetos domésticos carregados pela água das chuvas, e pelo aumento do diâmetro dos condutos, prejuízos ambientais como assoreamento, doenças de veiculação hídrica, podendo até mesmo ocasionar a morte de pessoas.

3.1.3 - Degradação da qualidade da água

Outro efeito da urbanização, pelo desenvolvimento de diversas atividades industriais, bem como pela circulação de veículos, é a deposição de sedimentos e poluentes nas superfícies que quando da ocorrência de chuvas, são levados para as redes de drenagem e conduzidos até os corpos d'água, contribuindo para a degradação da qualidade da água dos mesmos. Essa parcela contribuinte de poluição é dita de origem difusa.

A poluição difusa, pode ser originada da deposição atmosférica de poluentes sobre telhados, ruas, e superfícies de área urbana; do desgaste de pavimentos; pelo uso de combustíveis e óleos lubrificantes de veículos; no lixo; pela erosão; e etc.

Porto (1995) cita como impactos na qualidade da água do corpo receptor, originada pelo escoamento superficial urbano: alterações estéticas (cor, turbidez); depósitos de sedimentos causando a destruição de habitats e diminuição da capacidade de escoamento; a depleção da concentração de oxigênio dissolvido; contaminação por organismos patogênicos e a eutrofização.

A esses impactos estão associadas outras conseqüências como as doenças de veiculação hídrica e gastos com o tratamento da água.

3.2– MEDIDAS DE CONTROLE

Conhecidos os problemas decorrentes da urbanização, fica claro que o fenômeno das enchentes pode trazer sérios danos à população afetada. Nesse sentido, deve haver uma preocupação com o conhecimento de medidas de controle desse fenômeno.

Genz e Tucci (1995) classificam as medidas de controle de enchentes de acordo com sua atuação na bacia, podendo ser:

- Distribuída ou na fonte (é o tipo de controle que atua sobre o lote, as praças e os passeios);
- Na microdrenagem (é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos);
- Na macrodrenagem (é o controle sobre os principais riachos urbanos).

Tucci e Genz (1995) classifica as medidas de controle conforme o mecanismo de controle que pode ocorrer por:

- **Infiltração e percolação:** normalmente cria espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial;
- **Armazenamento :** por meio de reservatórios que podem ser de tamanho adequado para uso numa residência (1-3m³) até na macro-drenagem urbana (alguns milhares de m³). O efeito do reservatório urbano é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- **Aumento da eficiência do escoamento :** por meio de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;
- **diques e estações de bombeamento:** solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuem espaço para amortecimento da inundação.

3.3- TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS OU SISTEMAS ALTERNATIVOS DE DRENAGEM

Com a intensificação do processo de urbanização, observada ao longo da segunda metade do século XX, os sistemas de drenagem então conhecidos como clássicos, começaram a apresentar limitações em relação a sua eficácia. O princípio de funcionamento pela transferência das águas para jusante o mais rapidamente possível, era uma das causas de inundações a jusante; o que sugeria a construção de novas obras de drenagem, em geral de elevado custo. Além disso, obras de canalização dos cursos d'água davam uma falsa idéia de segurança contra inundações, fazendo com que as pessoas de baixa renda ocupassem as áreas ribeirinhas, resultando em perdas de vidas e prejuízos econômicos (Baptista *et al.*, 2005).

Nascimento *et al.* (1997) afirmam que os sistemas clássicos tendem a amplificar os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos. Citam como consequência a obsolescência das redes de drenagem, o aumento na frequência de inundações e a poluição dos corpos d'água, com repercussões econômicas, sociais, ambientais e políticas.

A partir dos anos 70, uma outra abordagem com relação à drenagem urbana tem sido desenvolvida, sobretudo na Europa e na América do Norte. Trata-se do conceito das tecnologias alternativas de drenagem que buscam compensar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos com benefícios para a qualidade de vida e a preservação ambiental (Nascimento *et al.*, 1997; Baptista *et al.*, 2005).

Os sistemas de drenagem conhecidos como alternativos ou compensatórios, diferentemente dos sistemas clássicos, funcionam basicamente pela retenção e infiltração das águas precipitadas visando à diminuição do volume escoado e a melhor distribuição temporal das vazões e por consequência a diminuição ou inócuência de inundações.

A adoção dos sistemas alternativos está condicionada a um grande número de fatores ligados às características hidrológicas locais, ao seu efetivo impacto sobre os processos hidrológicos na bacia, à sua integração com o planejamento urbanístico, à adoção de novas práticas de manutenção, aos custos de implantação e de manutenção, etc (Nascimento *et al.*, 1997).

Esses sistemas podem assumir múltiplas formas como trincheiras, valas, fossas, pavimentos dotados de estrutura de reservação, poços, telhados armazenadores, bacias de detenção secas ou com água, podendo ser utilizadas em diferentes escalas e facilmente integradas ao meio ambiente, permitindo ainda diversos usos pela população. Além dessas formas Urbanas e Stahre (1993) acrescentam os planos de infiltração, as bacias de percolação e os pavimentos permeáveis.

Baptista *et al.* (2005) classifica essas técnicas em três tipos distintos, conforme sua posição de implantação, que podem ser:

- Técnicas de controle na fonte, implantadas junto a parcelas ou pequenos conjuntos de parcelas, associadas a pequenas superfícies de drenagem. São exemplos os poços de infiltração, valas ou valetas de armazenamento ou infiltração, os telhados armazenadores, etc.
- Técnicas lineares implantadas usualmente junto aos sistemas viários, como em pátios, estacionamentos e arruamentos. São exemplos desse grupo de técnicas os pavimentos porosos, as trincheiras, etc.

- Técnicas de controle centralizado que são usualmente associadas a áreas de drenagem de grande porte. São exemplos basicamente as bacias de detenção e retenção, ou infiltração.

Outra classificação é apresentada por Nascimento *et al.* (1997), que classifica as técnicas conforme a ação que exercem sobre os processos hidrológicos e conforme sua localização no espaço.

Conforme a ação sobre os processos hidrológicos, as soluções podem atuar sobre a redução dos volumes ou das vazões. No primeiro caso, elas buscam promover, sobretudo, os processos de infiltração e percolação e, no segundo, principalmente o armazenamento temporário de águas pluviais.

Quanto à localização no espaço podem ser difusas e concentradas. Como exemplos de difusa tem-se pavimentos porosos, planos de infiltração, poços de infiltração, bacias de percolação, armazenamento em coberturas, etc. Quanto às soluções concentradas, as bacias de detenção representam o principal exemplo.

A seguir, serão apresentadas algumas das técnicas mencionadas, destacando-se suas características, vantagens e desvantagens.

3.3.1- Bacias de detenção

As bacias de detenção são estruturas de acumulação temporária e/ou de infiltração de águas pluviais utilizadas para atender três funções principais diretamente relacionadas com a drenagem urbana de águas pluviais que são (Baptista *et al.*, 2005):

- O amortecimento de cheias geradas em contexto urbano como forma de controle de inundações;
- A eventual redução de volumes de escoamento superficial, nos casos de bacias de infiltração;
- A redução da poluição difusa de origem pluvial em contexto urbano.

Quanto a seu funcionamento, podem ser subdivididas basicamente em:

- Bacias de retenção, quando a finalidade única é a estocagem temporária das águas, proporcionando o rearranjo temporal das vazões;
- Bacias de infiltração, com a finalidade de infiltrar a totalidade das águas pluviais, determinando um volume de escoamento nulo a jusante e;
- Bacias de retenção e de infiltração, que reúne as características das duas primeiras, infiltrando parte das águas provenientes das chuvas, de forma a reduzir os volumes escoados a jusante e conseqüentemente proporcionando o rearranjo temporal das vazões.

STU e Agences de l'eau (1994) *apud* Castro (2002) classificam quanto à aparência dessas bacias em bacias a céu aberto e bacias enterradas. As bacias a céu aberto ainda se subdividem em bacias com água, quando são preenchidas com água permanentemente; bacias secas que possuem água apenas nos períodos chuvosos; e bacias em zonas úmidas, onde são utilizadas áreas não ocupadas naturalmente inundáveis. Quanto às bacias enterradas, essas não ocupam áreas de superfície e, portanto, não competem com outros equipamentos urbanos pela ocupação de espaço. Contudo, necessitam de grandes trabalhos de engenharia.

O emprego de bacias de detenção, como qualquer obra de engenharia, causa impactos no ambiente, que podem ser positivos ou negativos. STU e Agences de l'eau (1994) *apud* Castro (2002) apontam como principais: os impactos sobre o regime hidrológico; sobre a qualidade das águas; sobre a paisagem urbana; e sobre a qualidade de vida na região.

- Sobre o regime hidrológico – As vazões restituídas são muito próximas às vazões observadas nas bacias em seu estado natural.
- Sobre a qualidade das águas: Em bacias com água, há diluição dos poluentes, a sedimentação de partículas sólidas, entre outros. Em bacias secas, é evitado o choque no curso d'água receptor, com a restituição lenta das águas a jusante; há também sedimentação das matérias em suspensão. Em bacias enterradas, há melhora da qualidade da água pelo processo de decantação.

- Impactos sobre a paisagem urbana – empreendimentos residenciais, industriais ou comerciais que incluem superfícies com água valorizam a obra. Durante a construção do sistema de drenagem, deve-se consultar especialistas em paisagismo e urbanismo para que a obra cause impactos positivos a área.
- Impactos sobre a qualidade de vida – a presença da água no meio urbano é bastante atrativa, determinando a concentração de pessoas. Durante a construção da bacia de retenção, deve haver conscientização social, informando a população a respeito das funções desempenhadas, sua operação, manutenção e problemas possíveis.

Vantagens e desvantagens

A principal função desempenhada pelas bacias de retenção é a proteção contra inundações, o que já representa uma grande vantagem em relação aos sistemas clássicos. Certu (1998) enumera outras vantagens e algumas desvantagens, conforme a Tabela 3.2.

Essa é uma técnica que pode ser utilizada em diferentes combinações ou arranjos de modo a obter os melhores resultados no tocante ao atendimento dos objetivos principais da obra. Esses arranjos podem ser: 1. a implantação de uma grande bacia a jusante; 2. a implantação de pequenas bacias em série ou em paralelo, nas áreas públicas; ou 3. a implantação de muitas pequenas bacias em nível de parcela, dispostas em paralelo.

No Brasil, essas estruturas já foram objeto de diversos estudos sobre medidas de controle de enchentes, entre os quais se pode citar o trabalho de Milograna (2001) que comparou a retenção de águas pluviais em reservatórios instalados em lotes e em áreas públicas como alternativas de drenagem, em estudo de caso na cidade de Goiânia. A referida autora concluiu que os reservatórios em áreas públicas (controle centralizado) se mostraram mais eficientes, pois além de reduzirem as vazões a níveis inferiores a pré-urbanização possibilitaram um retardo de 6 minutos no tempo ao pico.

Tabela 3.2 – Vantagens e desvantagens das bacias de retenção (Certu, 1998)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - efeitos paisagísticos, com a criação de áreas verdes em meio urbano; - armazenamento de volumes de água que podem ser utilizados para outros fins, como, por exemplo, reserva para incêndio ou irrigação de jardins, em pequenas bacias construídas nos lotes; - as bacias de infiltração podem possibilitar a recarga de aquífero e dispensam exutórios e tubulações de descarga a jusante; - as áreas de bacias secas se prestam à utilização para a prática de esportes como voleibol, futebol entre outros; - em áreas não completamente urbanizadas, as bacias podem servir como reserva ecológica, colaborando com a preservação da fauna e da flora; - as águas que passam pela bacia são decantadas e as partículas sólidas ficam retidas no fundo da mesma. 	<ul style="list-style-type: none"> - risco à segurança dos moradores às suas margens; - a ocupação de grandes áreas; - o risco de poluição de aquíferos no caso de bacias de infiltração; - o risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas por eles nas áreas próximas a bacia de detenção.

A Figura 3.1 traz uma representação esquemática de uma bacia de infiltração. As figuras 3.2 e 3.3 mostram exemplos de bacias de detenção seca e com água, respectivamente.

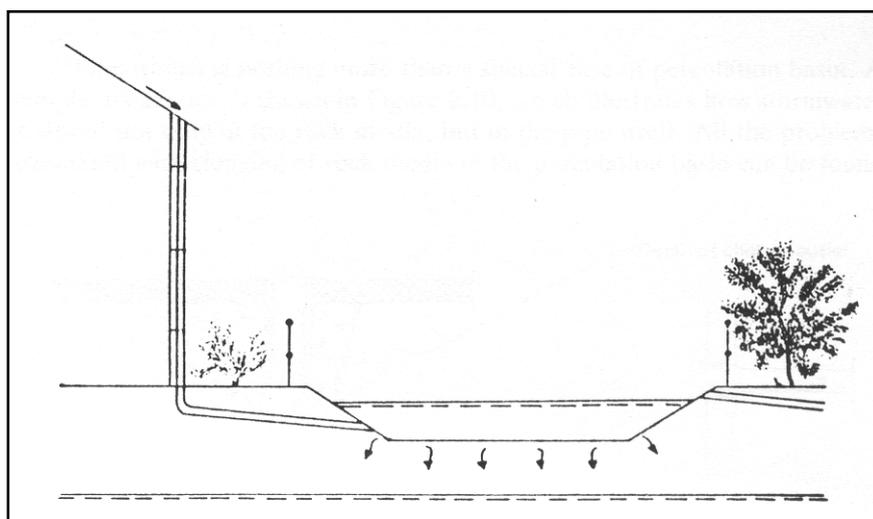


Figura 3.1 – Representação de uma Bacia de Infiltração (Urbonas e Stahre, 1993).



Figura 3.2 – Exemplo de bacia de detenção seca (CETE DU SUD-OUEST, 2003).



Figura 3.3 – Exemplo de bacia de detenção com água (Pompêo, 1998).

3.3.2- Pavimentos com estruturas de reservação

O funcionamento da técnica de pavimentos com estrutura de reservação pode ser abordado de duas formas, de acordo com a característica do pavimento, se permeável ou impermeável.

Quando o pavimento é dotado de material permeável a introdução das águas pluviais no pavimento é efetuada diretamente na superfície. A água infiltra naturalmente pelos poros da superfície para um reservatório subterrâneo. Em pavimentos impermeáveis, a água é levada através de drenos ou bocas de lobo para um reservatório subterrâneo. Em seguida, a água é evacuada por infiltração ou por um exutório, em ambos os casos.

A Figura 3.4 faz uma representação esquemática dos arranjos possíveis dessa estrutura bem como de suas estratégias de funcionamento.

Na figura 3.5 é apresentado um exemplo de pavimento permeável.

Vantagens e desvantagens

As vantagens e desvantagens dessa técnica são apresentadas na Tabela 3.3:

Tabela 3.3 – Vantagens e desvantagens dos pavimentos com estrutura de reservação

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - redução das vazões de pico pelo armazenamento temporário; - ganho financeiro, pela redução das dimensões das tubulações a jusante - redução do ruído dos pneus; - redução das poças d' água; - melhora a aderência à circulação de veículos - redução de poluentes por decantação - possível recarga do aquífero subterrâneo 	<ul style="list-style-type: none"> - tendência à obstrução dos poros (colmatação) - necessidade de manutenção constante no caso de pavimentos permeáveis; - risco de poluição do lençol quando ocorre a infiltração; - a falta de estudos ou experiências da utilização em áreas de grande tráfego, o que significa dizer que não há previsão de outros riscos (Castro, 2002)

Essa técnica foi utilizada com sucesso na França, desde os anos 70, e a partir de 1977 foi objeto de sistemática experimentação. Technopolis, em Bordeaux, é um exemplo da utilização dessa técnica (Certu, 1998). Hoje, essa técnica é bastante utilizada na França, em diversas cidades tais como Aulnay, Bayonne, Baugé, entre outras. É também utilizada nos EUA, nos estados da Flórida e Louisiana (Urbonas e Stahre, 1993), sendo também utilizada no Japão e na Suécia (Azzout *et al.* 1994).

No Brasil, pode-se citar a contribuição de Araújo *et al.* (2000), que avaliou a eficiência de cinco tipos de pavimentos (blocos de concreto; paralelepípedo; concreto impermeável; blocos vazados; concreto poroso) na redução de escoamento superficial. Os autores

recomendam o uso de superfícies semi-permeáveis e permeáveis em áreas urbanas em substituição a pavimentos impermeáveis para o controle do escoamento superficial. Esses autores recomendam ainda a utilização dessas estruturas em estacionamentos para veículos leves por questão de resistência e manutenção da estrutura.

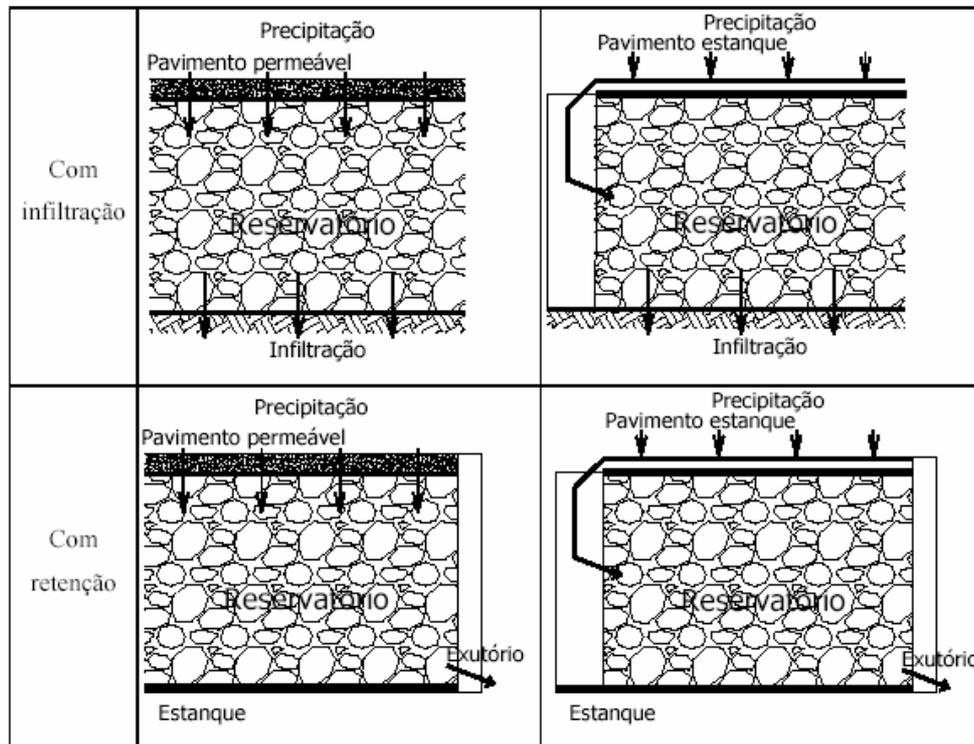


Figura 3.4. – Arranjos de pavimentos com estrutura de reservação (Azzout *et al.* 1994)



Figura 3.5 – Exemplo de pavimento permeável
(CETE DU SUD-OUEST, 2003).

3.3.3 - Poços de infiltração

Os poços de infiltração são dispositivos pontuais com pequena ocupação de área superficial, concebidos para evacuar as águas pluviais diretamente no subsolo, por infiltração (Baptista *et al.*, 2005). Consistem numa estrutura de armazenamento e favorecimento da infiltração da água proveniente do escoamento superficial. Trata-se de uma estrutura semelhante a uma trincheira de infiltração sendo que este não é uma estrutura linear e sim pontual e vertical, que possibilita a infiltração na direção radial (CETE, 1993 *apud* Agra, 2001).

Azzout *et al.* (1994) enumera como uma de suas características mais importantes o fato de poder ser aplicada em regiões onde o solo superficial tem pouca permeabilidade, mas suas camadas mais profundas, grande permeabilidade.

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

Os poços de infiltração podem ser preenchidos com material poroso, ou também executados sem preenchimento, sendo nesse caso necessário que se estabilizem as paredes do poço. A escolha pelo tipo ou presença de preenchimento fica a depender do volume necessário para o armazenamento (CETE, 1993 *apud* Agra, 2001).

Quanto ao modo de evacuação das águas armazenadas pode ocorrer sob duas formas: infiltração diretamente no solo ou injeção no lençol subterrâneo (Baptista *et al.*, 2005; Azzout, *et al.*, 1994), razão pela qual são denominados poços de absorção e poços de injeção.

As Figuras 3.6 e 3.7 representam esquematicamente os poços de infiltração.

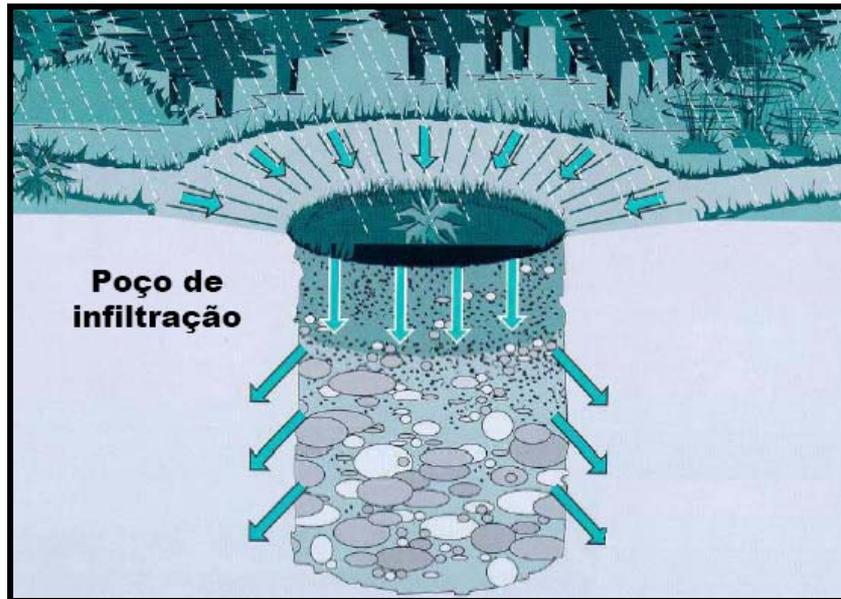


Figura 3.6 – Perfil de um poço de infiltração (Baptista, 2006).



Figura 3.7 – Poço de infiltração em área de recreação (Baptista, 2006).

Vantagens e Desvantagens

Essa técnica além de permitir a redução dos volumes a serem drenados pelos sistemas clássicos apresenta como característica importante a facilidade de associação com outras técnicas como trincheiras, pavimentos ou valas (Certu, 1998).

Azzout *et al.* (1994) citam outras vantagens e algumas desvantagens dessa técnica, a seguir descritas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Vantagens e desvantagens dos poços de infiltração

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - redução dos volumes drenados pela rede de drenagem clássica; - ganho financeiro, pela redução das dimensões das tubulações à jusante - boa integração no meio urbano; - redução dos riscos de inundação; - não necessita de exutório; - possível recarga do aquífero subterrâneo - não há restrições em função da topografia; - Boa utilização no caso de solos superficiais pouco permeáveis e camadas profundas com grande capacidade de infiltração 	<ul style="list-style-type: none"> - A possibilidade de colmatção das superfícies de infiltração; - Necessidade de manutenção regular; - Risco de poluição do lençol subterrâneo; - Baixa capacidade de armazenamento

O início da utilização dessa técnica como alternativa de drenagem urbana data de meados do século XVIII ao início do século XIX. Na França é utilizada em cidades grandes como Lyon e Marselha. Em países como Alemanha, Inglaterra, Itália e Estados Unidos, é mais comum a utilização de poços de injeção (Azzout *et al.*, 1994).

3.3.4- Telhados armazenadores

Embora o desenvolvimento urbano contribua sensivelmente para a impermeabilização das superfícies, e conseqüentemente com a ocorrência de enchentes e inundações, as construções prediais podem ser desenvolvidas de modo a diminuir o escoamento superficial. Isso é possível com a utilização da técnica de telhados armazenadores.

Os telhados armazenadores se encarregam do armazenamento provisório das vazões escoadas e são desenvolvidos com dispositivos de regulação de vazão associados a uma determinada vazão máxima.

É uma técnica que pode ser utilizada isoladamente ou se estender ao planejamento de uma região inteira. Podem ainda, ser utilizados em telhados planos ou dotados de ligeira declividade com a implantação de compartimentos.

A representação de um telhado armazenador consta das Figuras 3.8 e 3.9.

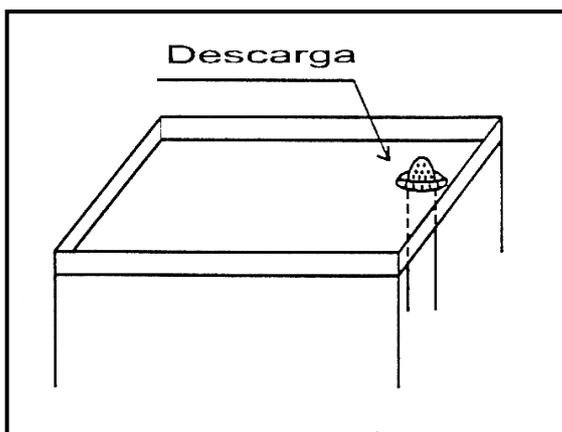


Figura 3.8 – Esquema de um telhado armazenador (Castro, 2002).

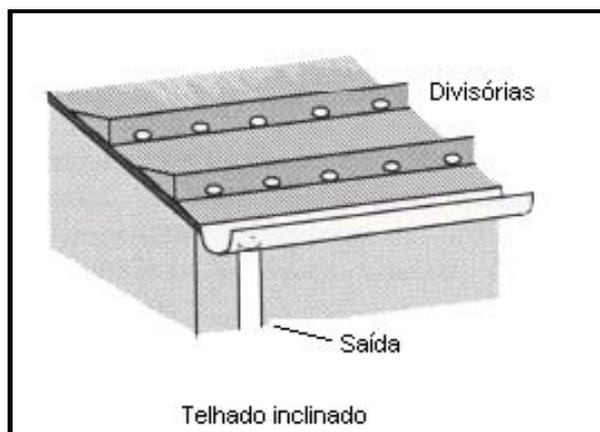


Figura 3.9 – Esquema de telhado armazenador inclinado (CETE DU SUD-OUEST, 2003)

Vantagens e desvantagens

Algumas vantagens e desvantagens dessa técnica são descritas por Azzout *et al.* (1994) conforme a Tabela 3.5:

Tabela 3.5 – Vantagens e desvantagens dos telhados armazenadores

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - redução das vazões escoadas à jusante; - ganho financeiro, pela redução das dimensões das tubulações à jusante; - redução dos riscos de inundação; - não necessita de grande investimento; - boa integração em ambientes urbanos; - não há diferenças técnicas na construção em relação aos telhados convencionais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de manutenção regular; - Dificuldade de utilização em telhados de elevada declividade; - Necessidade de cuidados com cálculos de estabilidade, quando da implantação dessa técnica em telhados já existentes.

Essa técnica é regularmente utilizada em estados norte-americanos como Filadélfia e Pensilvânia, e em cidades Francesas (Azzout *et al.*, 1994).

No Brasil essa estrutura está sendo objeto de trabalhos experimentais podendo-se citar um estudo hidrológico de cobertura verde leve (CVL) como alternativa para controle do escoamento em lotes domiciliares. Esse estudo utiliza-se da capacidade de armazenamento da estrutura associado a efeitos ocasionados pelo uso de vegetação no telhado reservatório, tais como evapotranspiração e a infiltração no substrato.

Os resultados desse estudo indicam uma eficiência no armazenamento obtida pela CVL, tendo como característica a capacidade de retardar o escoamento. A análise da viabilidade econômica dessa estrutura apresentou uma redução de custo de 10% em relação aos telhados tradicionais. (Almeida Neto *et al.* 2005).

3.3.5 - Trincheiras

As trincheiras são técnicas compensatórias lineares, implantadas junto à superfície ou a pequena profundidade, com a finalidade de recolher as águas pluviais de influência perpendicular ao seu comprimento, favorecendo a infiltração e/ou armazenamento temporário. Apresentam largura e profundidade reduzida, usualmente não ultrapassando um metro, contrapondo-se as suas dimensões longitudinais que são bastante expressivas (Baptista *et al.*, 2005).

Funcionam como reservatório convencional de amortecimento de cheias, apresentando desempenho melhorado pelo favorecimento da infiltração e conseqüentemente da redução dos volumes escoados e das vazões máximas de enchentes (Agra, 2001; Souza, 2002).

Podem ser revestidas por diferentes tipos de material (asfalto poroso, concreto, grama, entre outros) e utilizadas em estacionamentos, calçadas ao longo de uma via ou em jardins.

As trincheiras podem ser classificadas quanto à forma de evacuação das águas em: trincheiras de infiltração quando a evacuação é feita por infiltração e trincheiras de retenção quando sua evacuação se dá por um exutório.

As figuras 3.10 e 3.11 representam respectivamente um esquema de uma trincheira e um exemplo de sua utilização.

Vantagens e Desvantagens

Trabalhando com as funções de infiltração e retenção as trincheiras proporcionam o rearranjo temporal das vazões, reduzindo o escoamento a jusante. Outras vantagens e algumas desvantagens da técnica são citadas por Azzout *et al.* (1994), conforme a Tabela 3.6.

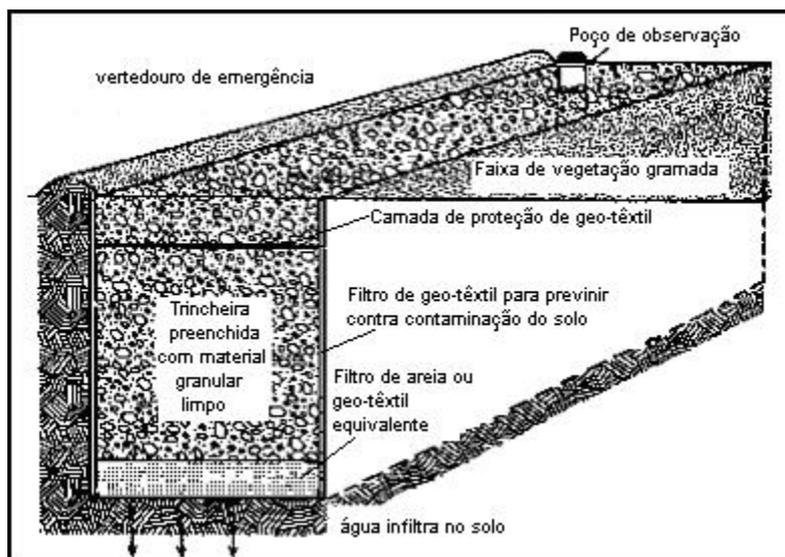


Figura 3.10 – Esquema de uma trincheira de infiltração (Souza, 2002).



Figura 3.11 – Exemplo de trincheira de infiltração (CETE DU SUD-OUEST, 2003)

Tabela 3.6 – Vantagens e desvantagens das trincheiras

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Redução das vazões de pico de escoamento a jusante; - Ganho financeiro, pela redução das dimensões das tubulações à jusante - Baixo custo; - Redução dos riscos de inundação; - Fácil construção; - Boa integração no meio urbano; - Recarga do aquífero subterrâneo e desnecessidade de exutório, no caso de trincheiras de infiltração; 	<ul style="list-style-type: none"> - A possibilidade de colmatção; - Manutenção regular específica; - Limitações no caso de declividade forte; - Risco de poluição do lençol subterrâneo;

Segundo Azzout *et al.*(1994), as trincheiras já são utilizadas há algum tempo em países como Alemanha, Austrália, Estados Unidos , Inglaterra, Japão e Suécia.

No Brasil, Souza (2002) fez um estudo experimental do funcionamento de trincheiras de infiltração no controle do escoamento superficial, concluindo pela capacidade dessas estruturas de controlar 100% do volume de escoamento gerado.

Há ainda um exemplo de utilização relatado por Baptista *et al.* (1998) em loteamento localizado na região metropolitana de Belo Horizonte, com uma área de 71,53ha, onde foram implantadas trincheiras de infiltração ao longo do sistema viário, com cerca de 7100 metros de ruas, avenidas e praças (Baptista *et al.*, 2005).

3.3.6 - Valas e valetas

As valas e valetas são técnicas compensatórias constituídas por simples depressões escavadas no solo com o objetivo de recolher águas pluviais e efetuar o seu armazenamento temporário e, eventualmente favorecer sua infiltração (Baptista *et al.*, 2005).

As valas são caracteristicamente obras de grande largura e baixa declividade no sentido longitudinal, escavadas na terra. As valetas, por sua vez são valas de pequenas profundidades.

A função principal dessas técnicas é reduzir os picos de vazões escoadas através de infiltração e/ou da retenção, com o rearranjo temporal das vazões. As águas pluviais escoam para o interior das valas através das superfícies laterais. O armazenamento das águas realiza-se no interior das valas, ao ar livre. Posteriormente as águas são evacuadas através de infiltração ou por um exutório, e por isso podem ser classificadas como vala e valetas de retenção ou de infiltração.

A figura 3.12 ilustra esquematicamente a estrutura e o funcionamento das valas de infiltração. A figura 3.13 apresenta um exemplo de utilização de valas.

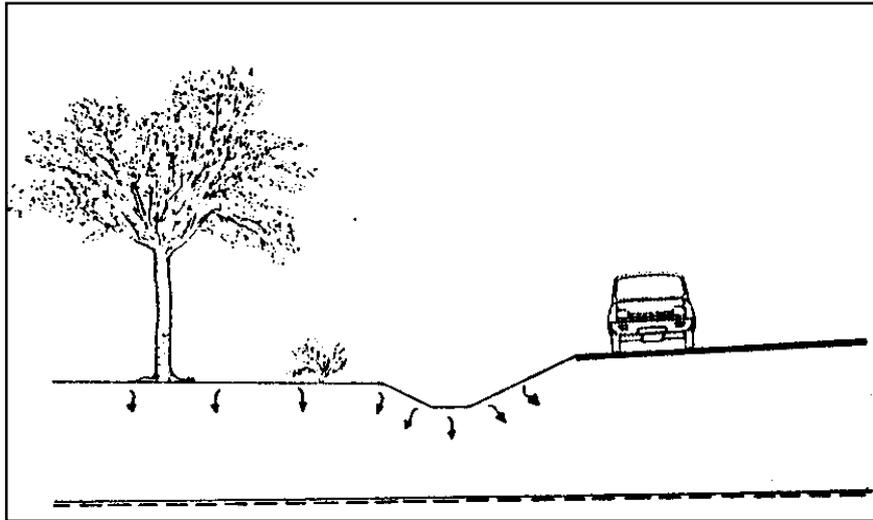


Figura 3.12 – Perfil de uma vala de infiltração (Urbonas e Stahre, 1993).



Figura 3.13 – Exemplo de vala de infiltração (Certu, 1998)

Vantagens e Desvantagens

Como as outras técnicas compensatórias as principais vantagens são o rearranjo temporal das vazões e a redução das vazões escoadas à jusante pela infiltração. Outras vantagens e desvantagens são citadas por Azzout *et al.* (1994) e Certu (1998), conforme a Tabela 3.7:

Tabela 3.7 – Vantagens e desvantagens das valas e valetas

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - ganho financeiro, pela redução das dimensões das tubulações à jusante - contribui na criação de paisagem vegetal e áreas verdes; - redução dos riscos de inundação; - Recarga do aquífero subterrâneo e desnecessidade de exutório, no caso de valas e valetas de infiltração; - Pode eventualmente ser usada em espaços de lazer; - Purificação da água por decantação. 	<ul style="list-style-type: none"> - A possibilidade de colmatação; - Manutenção regular específica; - Risco de poluição do lençol subterrâneo; - Risco de estagnação da água nessas estruturas.

As valas e valetas são utilizadas na França há algum tempo, principalmente na drenagem de rodovias ou grandes estacionamentos. Azzout *et al.* (1994) citam como exemplo a área de um loteamento de 4,2 ha em Bruges, realizada em 1986. Outro exemplo citado pelo mesmo autor foi uma área em Valence, em que para a drenagem de cerca de 120ha as técnicas alternativas foram utilizadas em conjunto, incluindo as valas, valetas e bacias de retenção e de infiltração.

Como se percebe, os sistemas alternativos ou compensatórios de drenagem, pelas suas características e estratégia de funcionamento mostram nítidas vantagens em relação às soluções clássicas, principalmente quanto à eficiência na redução do volume escoado e na melhoria da qualidade das águas pluviais.

A implementação de um sistema de drenagem atualmente não deve atender somente critérios técnicos, mas também deve considerar aspectos ambientais, sociais, econômicos, entre outros, sob pena de comprometer a sustentabilidade do sistema.

3.4 - METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO

Raramente, uma decisão é tomada em função de um único objetivo. Mesmo nas decisões mais simples do dia-a-dia não se utiliza apenas o critério mínimo custo. A tomada de decisão, normalmente considera diversos fatores tais como econômico, social, ambiental, técnico, entre outros.

Como menciona Bursztyn (1994) *apud* Harada (1999) em um empreendimento qualquer, um processo de decisão racional compara as vantagens e desvantagens de cada ação que se pretende implementar, utilizando algum método de comparação que varia de acordo com a regra de decisão ou a técnica utilizada. Essas regras de decisão consistem em: definir ganhos e perdas, em função do objetivo ou grupo de objetivos procurados; recensear os ganhos e as perdas; medir os ganhos e as perdas em unidades idênticas ou diferentes; utilizar coeficientes de importância explícitos ou não, em função das fases anteriores.

Existem diversas metodologias para a avaliação de alternativas para uma posterior tomada de decisão. Existem análises mais simples, tais como as que consideram a avaliação de um critério único e análises mais complexas, como aquelas que consideram múltiplos critérios. Esta última é conhecida como análise multicritério. Essas análises são descritas resumidamente a seguir.

3.4.1- Análise de critério único

As análises de critério único baseiam-se no princípio da agregação de diferentes efeitos analisados e a consideração dos ganhos em um único critério, isto é, na busca de um maior valor ou de um valor mais próximo de um valor desejado, de uma função $z(x)$, por exemplo, simbolizando o critério agregado escolhido para a análise. Os modelos tradicionais de abordagem de auxílio a decisão consideram que $z(x) > z(y)$, então x é preferível em relação a y . Essas análises levam em consideração o princípio da transitividade, isto é, se $z(x) > z(y)$ e $z(y) > z(w)$, então $z(x) > z(w)$ e x é preferível a w . A incomparabilidade não é normalmente admitida. (Harada, 1999).

A seguir são apresentados alguns dos tipos de análises de critério único mais comumente utilizados.

3.4.1.1 - Análise custo-benefício

O objetivo dessa análise é a comparação de vantagens e desvantagens de diferentes decisões possíveis no aspecto econômico. A escolha pela melhor alternativa será dada pela opção que apresentar a melhor relação entre os custos e benefícios gerados.

Para que seja possível essa comparação os atributos de custos e benefícios envolvidos em cada alternativa são transformados em valor monetário.

As formas mais comuns de comparação desse tipo de análise são: Diferença benefício-custo; Razão benefício-custo; Razão Incremental Benefício-custo; Taxa interna de retorno.

Pode-se citar como vantagens desse tipo de análise o fato de exprimir resultados mensuráveis e compreensíveis para os participantes do processo decisório (Harada, 1999), uma vez que todos os benefícios e custos referentes a todas as alternativas de projeto estarão expressos monetariamente (Castro, 2002). Como desvantagem, o método requer grande número de informações havendo, por isso, uma tendência do agente decisor a negligenciar informações.

3.4.1.2 - Análise custo-efetividade

Outro exemplo de análise de critério único é a análise custo-efetividade. Essa análise visa a seleção da alternativa(s) que apresentem o mínimo custo para atender ao objetivo proposto. Pressupõe que os benefícios proporcionados por cada alternativa são semelhantes, ou expressáveis em valores equivalentes, não sendo necessária a comparação das mesmas no processo de avaliação.

Harada (1999) afirma que essa é uma abordagem adotada quando não se pode, não se deve ou não se quer estimar os benefícios de uma determinada decisão. É uma abordagem essencialmente financeira que considera como o critério básico o menor fluxo de caixa proporcionado pelo empreendimento.

Apresenta como vantagem sua simplicidade, já que não há necessidade de conhecer ou quantificar os benefícios. Como desvantagem pode ser apontado o fato de não considerar os custos sociais resultantes de efeitos diretos e indiretos da decisão tomada.

3.4.1.3 - Análise risco-benefício

A análise risco-benefício é uma análise que considera a aceitação dos riscos como um problema de decisão. Em resumo, são determinados o risco aceitável e as medidas

aceitáveis de remediação dos efeitos desse risco, e posteriormente comparados aos benefícios prováveis.

Essa análise considera ainda outros custos que não envolvem riscos, sendo que a opção mais aceitável não é necessariamente a de menor risco e sim a que apresenta benefícios mais compensadores.

Harada (1999) cita como vantagem dessa metodologia o fato de considerar todos os benefícios e custos, além de observar o ponto de vista da sociedade na aceitação do risco, e como desvantagem considerar estimativas de difícil mensuração, tornando a análise muito subjetiva em alguns casos.

3.4.2 - Abordagem multicritério

A abordagem tradicional de seleção de alternativas de planejamento em recursos hídricos baseada na análise técnico-econômica, especialmente através da Análise Benefício-Custo, tem cedido lugar a uma abordagem mais abrangente que considera múltiplos objetivos. Embora seja mais complexa, exigindo maior número de informações trata-se de uma tendência internacional irreversível, representando um marco de evolução das sociedades, especialmente impulsionada pela conscientização quanto aos problemas ambientais e sociais (Barbosa, 1997).

A existência de mais atributos para a comparação de alternativas dificulta a determinação da superioridade de uma sobre a outra alternativa, isto porque pode não haver uma situação chamada de “dominância”, onde a totalidade dos atributos de uma alternativa tem superioridade em relação aos atributos da outra. Da mesma forma, a transitividade entre as alternativas comparadas também é dificultada, pois poderá haver a dominância em relação a um critério entre alternativas que não necessariamente se verifique em outro. Torna-se necessário o uso de novas ferramentas capazes de resolver esse tipo de questão. Essa necessidade dá ensejo a aplicação dos métodos chamados multicriteriais (Harada, 1999).

A história da análise multicriterial teve início com o trabalho de Pareto (1896), que examinou um problema de agregação de critérios dentro de um critério simples, definindo o conceito da eficiência entre duas alternativas de decisão (Zuffo *et al.* 2002).

As técnicas de análise multiobjetivo têm se revelado como recurso significativo de apoio à decisão, especialmente em problemas de interesse público. No caso do planejamento e gestão dos recursos hídricos, tais ferramentas apresentam-se ainda mais apropriadas. Barbosa (1997) apresenta as seguintes razões:

- nítida existência de situações de conflito, decorrentes das limitações dos recursos naturais ou financeiros, ou ainda devido a outras condicionantes de ordem social, institucional ou legal;
- multiplicidade de usuários e potenciais interessados nos problemas associados ao uso da água;
- elevado grau de interconexão dos problemas e das possíveis soluções em termos espaciais, temporais e institucionais;
- ocorrência muito freqüente de objetivos não quantificáveis precisamente, seja em termos monetários, ou sob qualquer outra forma de medida.

Na gestão das águas pluviais urbanas, após o surgimento das técnicas compensatórias, a concepção dos sistemas de drenagem, tem se mostrado um problema complexo envolvendo múltiplos objetivos e a participação de múltiplos decisores.

Barraud *et al.* (1999) afirmam que essas técnicas embora ofereçam grandes vantagens em relação ao sistema tradicional, elas ainda não estão sendo largamente utilizadas, devido a multiplicidade de soluções técnicas formadas por múltiplos elementos relacionados com os sistemas urbanos, oferecendo até novos usos, evoluindo em diversos pontos comparadas com o sistema tradicional e demandando uma grande escala de competências e pontos de vista para o projeto, construção e manutenção.

3.4.2.1 - Classificação dos Métodos

A depender da forma em que são utilizadas as preferências do decisor, e da natureza do problema, as técnicas de análise multiobjetivo podem ser divididas da seguinte maneira (Barbosa, 1997; Cohon e Marks *apud* Braga e Gobetti, 1997):

Grupo I – Técnicas de geração de soluções não-dominadas – consideram um vetor função objetivo, utilizando-o para gerar um conjunto de soluções não-dominadas, não considerando as preferências do decisor, baseando-se, somente, nas restrições físicas do problema (Zuffo, *et al.*, 2002). Nesse grupo inclui-se o Método dos Pesos, Método das Restrições, Método Multiobjetivo Linear;

Grupo II – Técnicas com articulação de preferência a priori – o decisor manifesta antecipadamente o seu juízo de valor sobre as trocas possíveis entre os objetivos e sobre os pesos relativos entre eles. Nesse grupo incluem-se o Método da Função Utilidade Multidimensional, Método da Programação por Metas, Método Electre, Método da Matriz de Prioridades, entre outros.

Grupo III – Técnicas com articulação Progressiva das Preferências – A interação analista-decisor ocorre ao longo de todo o processo decisório. São exemplos desse grupo o Método dos Passos e a Programação de Compromisso (Braga e Gobetti, 1997).

Outra classificação é proposta por Vincke *et al.* (1992) *apud* Barcellos (2003), distribuindo os métodos em três famílias, que são métodos baseados na teoria da utilidade multiatributo; métodos seletivos e métodos interativos. Essas famílias e alguns de seus métodos são descritos a seguir.

a) Métodos baseados na teoria utilidade multiatributo:

A metodologia dessa família consiste na agregação de diferentes atributos dentro de um única função, tendo como objetivo obter a alternativa que possa otimizar a função. Sua teoria baseia-se no axioma fundamental de que qualquer decisor procura maximizar uma função de utilidade ou minimizar uma função de custo. A função de otimizar consiste em uma síntese de diferentes atributos, de forma a agregá-los em um único valor, sendo uma representação matemática da estrutura de preferência do decisor (Braga e Gobetti, 1997).

Em aplicações de múltiplos objetivos é preciso determinar as funções de utilidade de cada atributo e combiná-las em uma única função utilidade-multiatributo. Para determinar sua forma, deve-se examinar os conceitos de independência das utilidades e independência das preferências (Harada, 1999).

Existe independência das utilidades quando a função utilidade para um particular atributo não muda ao variar os níveis dos demais atributos que compõem a função utilidade multiatributo. Se ao menos um atributo é independente dos demais, essa função pode ser definida da seguinte forma:

$$u(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (3.1)$$

Onde:

$u(x)$: função de utilidade multiatributo;

x : vetor de dimensão n que quantifica os níveis de atributos;

k_i : constante de troca para o atributo i ;

$u_i(x_i)$: função utilidade do atributo i .

Nessa família incluem-se o Método dos Pesos, o Método das Restrições e o Método Multiobjetivo Linear.

b) Métodos Seletivos

Essa família procura estabelecer comparações entre as alternativas, duas a duas, através do estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos decisores, sendo chamada relação de seleção. Essa relação indica se há argumentos suficientes para decidir se uma das alternativas é tão boa quanto a outra, ou se essa assertiva pode ser refutada.

Dependendo do método, essas comparações podem ainda considerar pesos, representando a importância relativa entre os critérios avaliados.

Essa família incorpora os conceitos de indiferença e incomparabilidade, no que se refere a preferência entre as ações, o que permite uma avaliação mais apropriada em alguns casos, mas que pode não permitir um ordenamento completo das alternativas em relação a preferência.

Um dos métodos mais difundidos dessa família é o grupo Electre, que será descrito a seguir.

- *Electre*

Os métodos Electre (*Elimination Et Choice Translating Reality*) aplicam-se principalmente no tratamento de alternativas discretas avaliadas qualitativamente (Braga e Gobetti, 1997). Algumas de suas versões estão descritas sucintamente a seguir.

O método Electre I tem como objetivo separar do conjunto total das alternativas, aquelas que são preferidas na maioria dos critérios de avaliação e que não causam um nível inaceitável de descontentamento nos outros critérios. Para isso são introduzidos os conceitos de concordância e discordância. O índice de concordância (C) representa uma razão ponderada dos critérios para os quais a alternativa *i* é preferida à alternativa *j*. O índice de discordância (D) é complementar e representa o quanto a escolha *i* é prejudicial em relação a alternativa *j*. Para calcular esses índices é definida uma escala numérica comum a todos os critérios. Como resultado desse método pode-se obter um gráfico determinando a ordenação parcial das alternativas, sendo as alternativas a escolher obtidas mediante a determinação de um subconjunto de alternativas denominado Kernel.

O método Electre II apresenta uma ordenação mais completa, dispondo de duas relações de subclassificação, que não existia no Electre I, que são dominância forte e fraca e portanto dois parâmetros de concordância e de discordância.

O método Electre III veio acrescentar alguns aperfeiçoamentos em relação às versões anteriores, como uma graduação contínua entre as preferências forte e fraca, representada por um segmento de reta inclinado, e não por patamares estanques. Outra diferença é a utilização de funções *q*, *p* e *v*, indicando indiferença, preferência e veto (Harada, 1999).

Esse método também utiliza índices de concordância e discordância, com que permitem construir a matriz de credibilidade, que representa uma medida de quanto cada alternativa desclassifica seu par. Através de um algoritmo é possível uma classificação ordenada de preferências (Harada, 1999).

A estrutura do Electre IV é mais simples que a dos demais métodos, pois em vez de utilizar as noções de concordância e discordância, utiliza, da mesma forma que o Electre III, os

pseudocritérios, ou seja, critérios associados a um limite de preferência estrita (p) e um limite de indiferença (q). Esse método é útil quando há dificuldades para a ponderação dos critérios ou quando os jogos de ponderação totalmente antagônicos estão presentes (Maystre *et al.*, 1994 *apud* Gomes *et al.*, 2004).

c) Métodos interativos

Essa família de métodos baseia-se na alternância das etapas computacionais com etapas de debate, onde são obtidas novas informações sobre as preferências dos agentes decisores, podendo esses métodos ser aplicados para um universo maior de casos, devido a sua flexibilidade.

Nesses métodos as preferências são discutidas e reavaliadas ao longo do processo decisório, sendo chamado de articulação progressiva de preferências. Parte-se de princípio segundo o qual o decisor não tem estabelecido *a priori* o seu sistema de preferência. Esse sistema se revela aos poucos pela melhor compreensão do problema e pelo curso do processo decisório (Harada, 1999).

Os métodos mais conhecidos dessa família são o Método do Valor substituto de Troca e Métodos dos Passos. A programação de compromisso também é um método que pode ser classificado nessa família por suas características.

3.4.2.2 - Aplicações

As técnicas de análise multicritério e multiobjetivo em problemas decisórios vêm sendo aplicadas há alguns anos na área de recursos hídricos. A Tabela 3.8 mostra alguns exemplos dessas aplicações, apontando a respectiva técnica utilizada.

Tabela 3.8 - Trabalhos com aplicações de técnicas multiobjetivo a casos nacionais
(adaptado de Barbosa, 1997)

Autores	Problema decisório	Técnica Utilizada
Andrade Filho (1986)	Operação de reservatório para geração de energia e irrigação no rio São Francisco	Método dos Pesos
Fricke <i>et al.</i> (1989)	Planejamento dos recursos hídricos da Bacia do rio Piracicaba	ELECTRE I e ELECTRE II
Andrade Filho <i>et al.</i> (1990)	Gerenciamento dos recursos hídricos do sistema Cantareira e do rio Piracicaba	Método dos Pesos
Braga <i>et al.</i> (1991)	Planejamento dos recursos hídricos da Bacia do Vale do Rio Doce	Matriz de Prioridades
Braga & Barbosa (1992)	Geração hidroelétrica e controle de cheias no Paranapanema	Método das Restrições
Gobbetti & Barros (1994)	Revisão do Plano diretor de esgotos da região metropolitana de São Paulo	Promethee, ELECTRE II, Função Utilidade Multidimensional, Programação de Compromisso
Barbosa & Gobbetti (1995)	Plano integrado de aproveitamento e controle dos recursos hídricos das bacias do alto Tietê, Piracicaba, Baixada Santista e Sorocaba	ELECTRE I, ELECTRE II, Programação de Compromisso
Teixeira & Barbosa (1995)	Seleção de alternativas de projeto de barragens de uso múltiplo	Método dos Pesos, ELECTRE I e ELECTRE II
Castro (2002)	Proposição de indicadores de sistemas de drenagem	ELECTRE III e Programação de Compromisso
Moura (2004)	Análise custo desempenho de sistemas de drenagem	TOPSIS

Com relação à concepção dos sistemas de drenagem urbana, muito embora seja um problema complexo, já que envolve múltiplos decisores e múltiplos critérios, poucos foram os trabalhos encontrados que utilizam a abordagem multicritério para a tomada de decisões.

Azzout *et al.* (1995) trabalhou com procedimento de auxílio à decisão para a escolha de técnicas compensatórias de drenagem urbana, demonstrando que esse processo deveria ser feito em duas fases, uma de eliminação e outra de decisão. Embora as duas envolvessem abordagem multicritério, a segunda fase é que se recomenda a aplicação dos métodos multicriteriais. Na apresentação de seus critérios justificou a escolha desses com base em extensa pesquisa bibliográfica.

Outros trabalhos desenvolveram metodologias para a aplicação de softwares, considerando definidas, da mesma forma, duas fases para a seleção de alternativas de drenagem: a fase de eliminação e a fase de decisão. Barraud *et al.* (1999) utilizou o software *Deltanoe* na fase de eliminação. Baptista (2004) utilizou o software *TcAlt* (para eliminação) baseando-se na tipologia da técnica, princípios de funcionamento, restrições de usos, entre outros, e o software *AvDren* (para decisão), baseando-se em indicadores de desempenho e custo. Ambos os trabalhos utilizaram como princípio a abordagem multicritério.

Como exemplo de aplicações específicas de métodos multicriteriais em sistemas de drenagem urbana, pode-se citar o trabalho de Castro (2002) em que foram propostos indicadores de desempenho para a avaliação de sistemas de drenagem, onde os critérios avaliados foram o objetivo, impactos da obra e inserção na obra. A proposição de indicadores foi baseada em pesquisa bibliográfica referente aos domínios da hidrologia urbana e aos sistemas de drenagem. Dessa pesquisa resultou a proposição de 13 indicadores. As técnicas de análise multicritério utilizadas foram o ELECTRE III e a Programação de Compromisso. O uso de indicadores aliado à aplicação de métodos multicriteriais permitiu a avaliação e o ordenamento das alternativas segundo os critérios delineados, e as técnicas compensatórias mostraram-se sempre as melhores classificadas.

Moura (2004) baseando-se nos indicadores propostos por Castro (2002) trabalhou com agregação desses indicadores para possibilitar uma análise desempenho-custo dos sistemas de drenagem como objetivo do trabalho. Para a agregação dos indicadores foi utilizado o método TOPSIS que apresenta a mesma estrutura da Programação de Compromisso. Foram agregados os indicadores propostos por Castro em um único índice assim como os de custo, possibilitando uma análise bidimensional, representada num gráfico de Pareto. Os sistemas de drenagem melhores classificados foram os que envolviam as técnicas compensatórias.

Ellis *et al.* (2004) salientam a importância da abordagem multicritério como uma necessidade para implementação de uma visão sustentável dos sistemas de drenagem. Os autores desenvolveram uma metodologia multicritério para a classificação e seleção de estruturas de sistemas de drenagem sustentáveis, cujos critérios foram definidos conforme uma síntese bibliográfica.

Moura *et al.* (2005) comparou as metodologias Electre III e Gráfico Pareto na análise de desempenho-custo, na ordenação de alternativas de projeto em drenagem urbana, onde concluiu que ambas as metodologias demonstraram baixa sensibilidade e alta robustez, além de alta correlação entre si. As alternativas de projeto mais bem classificadas envolviam técnicas compensatórias de drenagem, para os dois métodos.

3.5 – INDICADORES COMO PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO

Para que seja possível a comparação de alternativas de projeto numa análise multicritério, normalmente toma-se como base critérios diversos ou os objetivos do projeto como parâmetros de comparação. Outra abordagem é feita com o uso de indicadores que podem ser agregados através de uma metodologia multicritério. Essa é uma tendência das recentes pesquisas na área de drenagem urbana.

Na realidade, indicadores representam uma medida, ou uma forma de materializar a comparação de critérios em termos numéricos. Para compreender como funciona a abordagem de comparação de alternativas por meio de indicadores é necessário o conhecimento de seu conceito, função e características. Esses detalhes são pormenorizados a seguir.

A palavra indicador deriva da forma latina *indicare*, que significa destacar ou revelar algo. Segundo Magalhães Jr. *et al.* (2003) os indicadores são informações que comunicam a partir da mensuração de elementos e fenômenos da realidade. A quantificação de informações com base em padrões de referência pode tornar seu significado mais claro e facilitar a comunicação. Os indicadores não são informações explicativas ou descritivas, mas pontuais, no tempo e no espaço, cuja integração e evolução permite o acompanhamento dinâmico da realidade.

Para Januzzi (2004) indicador é uma medida em geral quantitativa dotada de significado substantivo, usado para substituir, quantificar e operacionalizar um conceito abstrato de interesse teórico ou pragmático. Indicador é um instrumento operacional para monitoramento da realidade para fins de formulação e avaliação de políticas públicas.

Magalhães (2004) afirma que os indicadores condensam informação, possibilitando a aproximação a problemas complexos através da simplificação e servem como elementos de difusão de informação devendo sua seleção ser bastante cuidadosa.

Como ferramentas de auxílio à decisão, os indicadores são modelos simplificados da realidade com capacidade de facilitar a compreensão de fenômenos, de aumentar a capacidade de comunicação de dados brutos e de adaptar as informações à linguagem e aos interesses locais dos decisores. Auxiliam a democratização do conhecimento e a avaliação das intenções e ações de gestão permitindo a instauração de um sistema de governança (Magalhães Jr., 2003).

Em sua estrutura podem ser variáveis simples ou funções de várias variáveis, podendo ser expressos como uma razão, proporção ou um índice, dependendo de duas ou mais variáveis, ou mesmo como o resultado de simulações através de modelos. Os valores dos indicadores podem ser observados, calculados ou medidos diretamente na fonte, mas podem ser também ser derivados de dados primários processados e analisados, formando agregados que vão funcionar como indicadores (Castro, 2002).

Quando são expressos por agregados formando índices, o indicador pode reduzir uma quantidade de dados a uma forma mais simples, retendo o seu significado essencial (Ott, 1978 *apud* Magalhães Jr. *et al.* 2003) Apesar dos riscos de perda de informação no processo de integração, um índice bem escolhido e formulado minimiza a distorção da realidade.

Os indicadores devem possuir qualidades que justifiquem sua escolha em um processo de gestão, como relevância, condições analíticas (embasamento técnico-científico), mensurabilidade (dados facilmente disponíveis e custos aceitáveis) qualidade dos dados, comparabilidade, as quais são especialmente importantes na busca de níveis referenciais para a determinação de metas (Hamilton, 1996 *apud* Magalhães Jr. *et al.*, 2003; OECD, 2002 *apud* Magalhães, 2004).

Os critérios e informações, normalmente utilizados na construção de uma metodologia de auxílio à decisão embasam a construção dos indicadores, que devem ser a esses critérios correspondentes. Nesse sentido, Royuela (2001) *apud* Magalhães (2004) aponta como

funções dos indicadores: prover informações sobre os problemas enfocados; subsidiar o desenvolvimento de políticas e estabelecimento de prioridades, identificando fatores-chave; contribuir para o acompanhamento das ações definidas e ser uma ferramenta de difusão de informações em todos os níveis.

3.5.1 – Indicadores em drenagem urbana

A variabilidade de soluções técnicas de drenagem e o aumento de problemas associados a urbanização tem levado o público pesquisador ao desenvolvimento de indicadores para funcionar como ferramentas de auxílio a decisão.

Sobre o desenvolvimento de indicadores, alguns trabalhos propuseram índices de drenagem e indicadores de drenagem associados à salubridade ambiental, que avaliam na realidade a situação de drenagem local. São exemplos os trabalhos de Batista *et al* (2005) e De Bonis *et al.*(2005).

Batista *et al.* (2005) propuseram um indicador de performance, como um sub componente do ISA/JP - Indicador de Salubridade Ambiental na cidade de João Pessoa. Nesse trabalho para o cálculo do Idu (indicador de drenagem urbana), considera-se o estado das ruas de um setor censitário de um bairro em João Pessoa, e avalia-se os critérios relativos à possibilidade de ocorrências de inundação, defeitos e pavimentação. A ocorrência de inundações ou alagamentos foi avaliada a partir de informações de moradores e/ou visitas de observação na ocasião de períodos chuvosos; e a importância relativa de cada um dos fenômenos intervenientes foi obtida através de pesquisa direta a profissionais do mercado imobiliário.

O indicador Idu proposto foi concebido a partir das necessidades de se incorporar a qualidade da drenagem urbana nas avaliações da salubridade ambiental. Como resultados, permitiu identificar os bairros do local estudado em que o sistema de drenagem apresentava deficiência, segundo os critérios adotados.

Cabe esclarecer que esse indicador não comparou a avaliação de alternativas de sistemas de drenagem, e sim a situação atual do sistema de drenagem local que contribuiu para a composição de um índice de salubridade ambiental.

De Bonis *et al.* (2005) trabalhou com estabelecimento de um índice de drenagem urbana para definição da criticidade do problema de cheia urbana. Em seu trabalho, o índice, que era resultado da composição de vários indicadores tinha como objetivo identificar a real situação da drenagem local, contribuindo para detectar situações de risco, monitorar tendências, avaliar, identificar e comparar situações da drenagem das águas pluviais locais, podendo ser aplicado em qualquer região urbana.

A definição dos parâmetros, adotados como indicadores, e seus respectivos pesos, baseou-se numa pesquisa de opinião junto a especialistas em drenagem urbana. Os parâmetros definidos foram: Densidade de Drenagem; Densidade Populacional; Cota de Inundação; Percentual de Logradouros com Problemas de Inundação; Valor do IPTU; Volume / Fluxo de Tráfego; Casos de Doenças de Veiculação Hídrica (hepatite, cólera, meningite, etc.), Taxa de Impermeabilização, Área da Mancha de Inundação.

O Índice de Drenagem Urbana (IDU) proposto foi utilizado num estudo de caso no Rio de Janeiro e mostrou que a área estava classificada numa situação regular.

Como conclusões os autores apontam a adequabilidade dos parâmetros utilizados para uma análise qualitativa de áreas urbanas inundáveis; que o IDU parece representativo das reais condições da área avaliada; e por fim que o IDU como ferramenta de gestão, torna-se um elemento importante na tomada de decisões, servindo de informação básica para exemplificar de forma simples a necessidade de cada região.

Esse indicador, da mesma forma que o indicador proposto por Batista *et al.* (2005), se presta a avaliar a situação atual em que se encontra determinado sistema de drenagem e não a comparar alternativas de sistemas entre si.

Na comparação de alternativas de sistemas de drenagem, a literatura mostra que já existem alguns indicadores propostos. A referência inicial é o trabalho de Castro (2002) que propôs indicadores de desempenho de alternativas de sistemas de drenagem. Posteriormente Moura (2004) propôs um indicador de custo e fez uma análise desempenho-custo utilizando-se dos indicadores de Castro (2002).

No trabalho de Castro (2002) foram propostos 13 indicadores avaliando os critérios: objetivo, impactos da obra e inserção da obra. Esses indicadores constam da tabela 3.11.

De uma análise crítica desses indicadores observa-se que alguns deles não necessariamente permitem uma avaliação do critério; e outros, normalmente dois indicadores relacionados, avaliam o mesmo critério.

Entre esses pode-se citar os indicadores de Impacto na recarga do aquífero; Impacto na possibilidade de transmissão de doenças; Impacto na possibilidade de proliferação de insetos; Impacto na qualidade das águas superficiais; e Impacto na qualidade das águas subterrâneas.

A variável utilizada no indicador de impacto sobre a recarga no aquífero é a vazão infiltrada, ou a área infiltrada. Quanto a isso cabe a seguinte observação: nem toda vazão infiltrada garante a recarga do aquífero, já que esse fato não depende exclusivamente de se verificar a vazão infiltrada no solo, mas também de outros fatores como do movimento da água no solo, das condições de umidade antecedente, saturação, etc. Em se tratando de uma avaliação complexa e de difícil medida, não se pode obter precisão com utilização do indicador proposto, razão pela qual não se recomenda o uso dessa variável para compor o referido indicador.

Quanto aos indicadores de impacto sanitário, foram propostos dois: possibilidade de transmissão de doenças e possibilidade de proliferação de insetos. Desses indicadores pode-se observar que os fatores considerados para avaliar cada um deles se mostraram coincidentes ou conseqüentes, dessa forma culminando em avaliações redundantes. Uma sugestão seria que essa observação fosse feita em único indicador sanitário (I_S), devendo ser considerados quaisquer fatores prejudiciais à saúde, como existência de insetos, sua proliferação, transmissão de doenças, presença de lixo, lançamentos de esgotos, entre outros.

Foram propostos dois indicadores para avaliar os impactos na qualidade das águas que foram: Impacto na qualidade das águas superficiais e Impacto na qualidade das águas subterrâneas. Quanto a esses indicadores também foram observadas avaliações redundantes uma vez que os fatores observados nesses indicadores são, da mesma forma, coincidentes,

não havendo portanto que se falar em dois indicadores sob pena de se está pesando duplamente o indicador de qualidade das águas, podendo-se avaliar nesses termos todos os fatores enumerados em apenas um indicador genérico, impacto na qualidade das águas.

Outra observação que se faz necessária é que quanto ao impacto na qualidade das águas subterrâneas, conforme antes mencionado, não há garantia de que a água infiltrada venha a compor as águas subterrâneas, e portanto contaminá-la. Ademais, pode haver natural depuração ou não ao longo caminho percorrido pela água no processo de infiltração e percolação no perfil do solo.

Em resumo percebe-se que os indicadores propostos avaliam critérios importantes para a comparação alternativas de sistemas de drenagem porém percebe-se avaliações redundantes em alguns indicadores.

Tabela 3.9 – Indicadores propostos por Castro (2002).

Critério	Subcritério	Indicador	Sigla	Fatores observados	Escala
Impactos da Obra	Objetivo	Atendimento objetivo	ao Io	Drenagem e controle de inundações;	0 a 1 tempo de retorno previsto e tempo de retorno desejável
	Hidrológico	Impacto hidrológico nas vazões de jusante	I _{H1}	Vazão escoada a jusante	0 a 1 mantida, se mínima ou máxima
		Impacto na recarga do aquífero	I _{H2}	Volume total infiltrado em relação a área em estado natural	-1 a 1
	Sanitário	Impacto na possibilidade de transmissão de doenças	I _{S1}	Poças d'água, carreamento do lixo, poluição pelo lançamento de esgotos, existência de epidemias de veiculação hídrica.	Escala subjetiva
		Impacto na possibilidade de proliferação de insetos	I _{S2}	Poças d'água, carreamento do lixo, poluição pelo lançamento de esgotos, existência de insetos vetores.	Escala subjetiva
	Qualidade da água	Impacto na qualidade das águas superficiais	I _{Q1}	Quaisquer fatores causadores de poluição as águas a serem escoadas: ligações de esgotos, despejo de lixo ou outros resíduos sólidos ou ainda estruturas de depuração, como filtros.	Escala subjetiva
		Impacto na qualidade das águas subterrâneas	I _{Q2}	Quaisquer fatores causadores de poluição as águas a serem escoadas: ligações de esgotos, despejo de lixo ou outros resíduos sólidos, ou ainda estruturas de depuração, como filtros.	Escala subjetiva
	Ambiental	Criação e preservação de habitats	I _{A1}	Relação entre a área ecologicamente apta a revitalização antes e após a implantação do sistema de drenagem.	-1 a 1
		Impacto paisagístico	I _{A2}	Projeto está ou não de acordo com as características urbanas determinadas no Plano Diretor.	Escala subjetiva
		Criação de áreas de recreação e lazer e equipamentos urbanos	I _{SC1}	Relação entre as áreas destinadas a recreação e lazer antes e depois da implantação do sistema de drenagem.	-1 a 1
Inserção da obra	Social	Impacto nas condições de circulação	I _{SC2}	Redução do efeito de aquaplanagem, dos níveis sonoros, aderência dos pneus à superfície pavimentada, redução das vias de circulação de veículos ou pedestres, dependendo do tipo de tráfego	Escala subjetiva
		Possibilidade de utilização de outras funções técnicas	I _{SC3}	Possibilidade de utilização para o desempenho de outras funções técnicas, além daquelas previstas.	Escala subjetiva
	Desapropriação de terras	I _{SC4}	Relação entre a área cuja a alternativa de projeto seja maior e a área total a ser desapropriada	-1 a 0 (impacto sempre negativo)	

3.6 - CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM

De modo geral, para a concepção ou implementação de qualquer projeto alguns critérios devem ser observados para que esse seja avaliado como bom ou pelo menos que atenda ao objetivo proposto. No caso da implantação de um sistema de drenagem, esses critérios podem estar relacionados às características físicas do local a que se pretende implantar a obra, aos impactos possivelmente causados, aos benefícios proporcionados pelo sistema, entre outros fatores.

A importância de observar esses critérios constitui princípio basilar que norteia inicialmente a viabilidade da obra. Assim afirmam Baptista *et al.* (2005) que citam como importante para verificar a viabilidade de obras de drenagem os aspectos físicos como topografia local, capacidade de infiltração do solo, nível das águas subterrâneas; os aspectos urbanísticos e de infra-estrutura como a disponibilidade de espaço, inclinação e forma dos telhados, redes existentes; e os aspectos sanitários e ambientais como o risco de poluição por finos, o risco sanitário por estagnação das águas, etc.

Baptista *et al.* (2005) afirmam ainda que antes de efetuar a concepção de sistemas de drenagem incorporando estruturas de retenção ou infiltração, é freqüentemente necessário realizar ou apoiar-se sobre um diagnóstico dos sistemas existentes, já que este tipo de estudo permite obter as informações e os dados mais relevantes para que se estabeleçam os objetivos do projeto, para orientar a escolha das soluções mais adequadas passíveis de serem adotadas e para fornecer indicações sobre sua implantação.

Nesse trabalho a definição dos critérios a serem considerados na avaliação de sistemas de drenagem consiste numa etapa inicial que embasará a formulação de indicadores para a efetiva avaliação dos sistemas de drenagem. A definição desses critérios foi feita por meio de revisão bibliográfica referente aos campos da hidrologia e aos sistemas de drenagem conhecidos.

É importante observar que esses critérios não devem ser estudados isoladamente, vez que um e outro podem estar relacionados entre si, relação essa que pode ser verificada pela eleição de variáveis, que podem estar avaliando critérios diversos.

Inicialmente, cumpre salientar que os critérios definidos foram extraídos de dois grupos de fatores que são: estudos preliminares considerados quando da implantação de um sistema de drenagem; e impactos causados pela urbanização no ciclo hidrológico, especialmente no que se refere ao aumento do escoamento superficial e ao destino das águas pluviais. A observação desses fatores possibilitou conhecer os critérios mínimos a serem considerados para avaliar sistemas de drenagem e conseqüentemente para construir indicadores que possam, de fato, exprimir a realidade, permitindo, portanto uma avaliação global dos sistemas de drenagem.

3.6.1. Estudos preliminares para implantação de projeto de drenagem

Para a elaboração de um projeto de drenagem, mesmo o projetista mais experiente deve tomar certas precauções, que são observadas na fase de estudos preliminares ao projeto. Essa é uma etapa obrigatória para a implantação de um projeto de drenagem.

Em projetos de drenagem urbana alguns critérios são obrigatoriamente considerados para que a obra atenda o objetivo originariamente proposto, que é o controle de enchentes e inundações.

O termo de referência e especificações para a elaboração de projetos de sistema de drenagem pluvial da Novacap (1999) permite identificar na fase de estudos preliminares desde logo a observação dos critérios necessários para a execução da obra. Nessa fase são observadas as características locais da bacia ou da área onde o projeto vai ser implantado, tais como topografia, espécie de ocupação, grau de urbanização, áreas impermeáveis, etc; as características hidrológicas tais como precipitação média, vazão máxima de cheia, precipitação máxima, hietogramas de projeto, tempo de concentração, tempo ao pico, distribuição espacial das precipitações, etc; e por fim características do projeto em plano para que a obra seja eficiente, podendo-se citar o tempo de retorno da obra, dimensionamento hidráulico das estruturas que comporão a obra, etc.

Além desses, outro importante critério considerado é o econômico, uma vez que para que se efetive a obra fazem-se necessários recursos financeiros, ou seja, receita. É importante salientar que esse aspecto está diretamente relacionado com as características hidrológicas e características do projeto, onde são necessariamente analisados o tempo de retorno e o

risco aceitável da obra. Conforme aponta Porto *et al.* (2001) quanto maior o tempo de retorno requerido, maior o porte da obra, e quanto maior o porte da obra maior o custo, além de também, ser maior a interferência no ambiente urbano, em caso de bacias urbanas.

Baptista *et al.* (2005) se posicionam no mesmo sentido destacando como importantes as condicionantes hidrológicas para o dimensionamento da obra e a influência de seu custo, afirmando que a capacidade de uma obra implica na definição de seu risco hidrológico e de sua vazão de restrição.

Alguns trabalhos referentes a sistemas de drenagem, em fase de dimensionamento, ou avaliando a eficiência confirmam a necessidade de observar esses critérios. Isso pode ser verificado no trabalho de Souza *et al.* (1997) e Nascimento *et al.* (1997) que desenvolveram o programa HIDROURB, um sistema computacional para facilitar a escolha e o pré-dimensionamento de soluções alternativas de drenagem urbana. Os autores partem da premissa de que fatores como características hidrológicas locais, impactos sobre os processos hidrológicos, custos de implantação e manutenção, devem ser observados quando da escolha de determinada solução de drenagem, sendo alguns desses critérios inclusive considerados como dados de entrada do programa.

Champs *et al.* (2001) ao dissertar sobre o planejamento do sistema de drenagem urbana na cidade de Belo Horizonte, numa análise histórica dos problemas hidrológicos ocorridos na cidade, e do sistema de drenagem implantado, concluíram que a hidrografia natural da área foi negligenciada, ainda na fase de planejamento, o que trouxe por conseguinte problemas de inundações a jusante e degradação ambiental. Os autores sugerem que a proposta de um plano diretor de drenagem urbana deve considerar certos fatores de forma integrada tais como características hidrográficas locais, características de uso e ocupação do solo, entre outros. O estudo foi dividido em duas etapas, sendo na primeira feito um levantamento da rede de drenagem e na segunda a previsão de uma rede hidrométrica para monitoração de relação chuva-vazão, modelagem hidrológica, e hidráulica do sistema de drenagem existente e as proposições de gestão e ações para o aperfeiçoamento do controle de inundações. Pode-se concluir pela descrição dos problemas ocorridos a necessidade de se considerar num projeto de drenagem as características físicas da bacia, características hidrológicas e do projeto para que sejam evitadas medidas corretivas.

No trabalho de Baptista *et al.* (1998) foi desenvolvido um projeto de drenagem de 72ha na região metropolitana de Belo Horizonte e comparado com o sistema convencional originariamente desenvolvido. Considerando a observação dos critérios técnico, econômico e ambiental, esses autores afirmaram haver vantagens econômicas, pela economia de cerca de 35% em relação ao projeto convencional, e ganho ambiental pela minimização do impacto da urbanização pelo favorecimento da manutenção das condições naturais de recarga dos aquíferos e de escoamento superficial. Ou seja, os critérios técnicos (hidrológicos), econômico e ambiental sendo considerados como ferramentas de comparação entre sistemas de drenagem reafirmam a importância de serem observados quando da implantação e seleção de alternativas de projeto de sistemas de drenagem.

Baptista *et al.* (2001) num trabalho de análise de dados para a formulação de indicadores técnico-econômicos para avaliação de sistemas compensatórios de drenagem pluvial consideraram esses critérios dentro de grandes grupos que foram os critérios ambientais, técnicos e econômicos. Desse trabalho resultou uma base de dados contendo informações econômicas e técnicas que descrevia inclusive o grau de satisfação das diferentes realizações em matéria de funcionamento, integração social e ambiental das diversas alternativas de drenagem. A análise dos resultados mostrou que, independentemente das técnicas, o volume armazenado se mostrou um bom indicador do custo de investimento.

Kobayashi (2003), desenvolveu um sistema de cálculo de projeto de drenagem urbana clássica cujo objetivo era determinar vazões e diâmetros de galerias, através de programação computacional. Em seu trabalho teve que considerar dados hidrológicos, como intensidade de chuva, tempo de concentração, etc, dados hidráulicos como tempo de retorno, além das características locais da área como o coeficiente de escoamento, declividade, etc, para por fim aplicar a um estudo de caso, o que confirma a obrigatoriedade da consideração dos critérios físico, hidrológico e hidráulico para a implantação de um sistema de drenagem.

Barraud (2001) trabalhou com a avaliação de sistemas de drenagem por infiltração utilizando esses critérios na formulação de indicadores de desempenho das diversas alternativas de projeto. O objetivo do trabalho era avaliar e comparar estratégias de infiltração a partir de indicadores de desempenho considerando aspectos técnicos, ambientais e sócio-econômicos. Nesse trabalho, diferentes projetos eram avaliados e

comparados considerando os indicadores formulados, sendo esses em seguida analisados criticamente quanto à acessibilidade (capacidade do indicador ser calculável muito rapidamente a um custo aceitável), pertinência (capacidade de refletir e guardar no tempo todo significado de um conceito), objetividade (aptidão para ser avaliado sem ambigüidade a partir de dados perceptíveis ou transparentes), Precisão/vigor (impacto das suas incertezas sobre as prescrições), Sensibilidade e Univocidade. Nessa análise foram encontrados problemas com a falta de objetividade ligada a avaliação.

Mesmo na escolha entre técnicas compensatórias, que já consideram o critério ambiental, o trabalho de Barraud *et al.* (1999), que desenvolveu um programa para a seleção dessas alternativas, mostra a necessidade de considerar outros fatores, até porque existe uma grande variedade de técnicas e diferentes possibilidades de combinações. Nesse sentido é importante observar o comportamento do solo, declividade local, risco de poluição do aquífero, capacidade de absorção do solo, etc, ou seja, características locais da área, e o aspecto econômico no que se refere aos custos com manutenção. O programa fruto do trabalho permite a seleção de alternativas de drenagem de acordo com uma lista de critérios, sendo conhecido como programa *DELTANOE*.

Como se percebe os critérios normalmente observados em estudos preliminares de sistemas de drenagem se referem às características físicas do local, características hidrológicas, hidráulicas e econômicas. A seguir esses critérios são detalhados um a um de modo que se possa conhecer a extensão dos mesmos num trabalho de avaliação.

3.6.1.1 - Critério Físico

O critério físico leva em consideração as características locais gerais de uma bacia, ou do local onde será implantada a obra de drenagem. Para que o projeto seja considerado exequível é necessário conhecer previamente algumas características da área de projeto de modo a concluir-se pela sua possibilidade ou não.

Uma das características determinantes para avaliar a possibilidade ou não de executar determinado projeto é a declividade. Essa característica diz respeito ao relevo da área permitindo identificar se a região tem relevo acidentado ou não, se há predominância de várzeas, etc.

Outra característica é o tipo de ocupação da área, se comercial, residencial, industrial. Essa característica dará uma idéia sobre a intensidade da intervenção possível, bem como se há necessidade da mesma. A porcentagem de área impermeabilizada, ou porcentagem de área verde existente são variáveis associadas a essa característica.

Características de solo como permeabilidade, grupo de solo, capacidade de infiltração, entre outros podem também ser consideradas na avaliação do critério físico, estando intimamente relacionado ao critério ambiental.

3.6.1.2 - Critério hidrológico

O critério hidrológico deve ser considerado não só em estudos preliminares para a implantação de sistemas de drenagem, mas também quando há necessidade de se executar medidas corretivas. Sua importância é esclarecida a medida em que se nota a relação entre os fenômenos de enchentes e inundações e as medidas de controle associadas, pois essas, por sua vez, são adotadas baseando-se nas características hidrológicas locais.

Em projetos de sistemas de drenagem esse critério é considerado um dos mais importantes, visto que para o dimensionamento e execução, há como pressuposto o conhecimento das características hidrológicas locais e suas alterações. Em sistemas já implantados os problemas derivados dessas alterações tais como fenômenos hidrológicos extremos - enchentes e inundações – e sua magnitude darão subsídios a escolha de medidas corretivas, ou ainda sugestão de modificações nos sistemas existentes.

Pode-se citar como características hidrológicas a intensidade de chuva, precipitação média da área ou da bacia, a precipitação máxima, vazão de pico, tempo de concentração, tempo ao pico, entre outras.

3.6.1.3 - Critério hidráulico

O critério hidráulico se refere essencialmente às características da obra, para que essa seja implantada de forma eficiente, de modo que funcione de acordo com o objetivo para que foi inicialmente proposta.

Esse critério pode estar relacionado também às características hidrológicas, e na prática se refere a escolha e ao dimensionamento das estruturas hidráulicas.

Um exemplo de variável desse critério é o tempo de retorno, pois avalia de forma indireta o risco da obra e diretamente a probabilidade de ocorrência de um evento extremo. Essa variável também é pressuposto para o dimensionamento hidráulico das estruturas, que levam em consideração variáveis diversas, ou conjunto de variáveis.

3.6.1.4 - Critério econômico

Considerando o fato de que toda obra ou projeto está associado a um valor econômico, fica muito claro identificar a importância desse critério. O valor econômico pode ser especificado em forma de custo quando da construção do projeto e manutenção da obra, ou na forma de benefício quando na execução forem verificados prejuízos evitados.

No critério econômico a variável geralmente utilizada é o custo, sendo normalmente preferida a opção de projeto que apresente menor custo.

Em projetos de drenagem essa variável se subdivide em custo de implantação, custo de manutenção e custo de operação.

Quando avaliada pela variável benefício, desde que esses possam ser devidamente quantificados (mesmo por variáveis indiretas, ou sociais, tais como número de famílias beneficiadas com a obra, etc) pode enriquecer e melhorar a avaliação desse critério.

Identificados os critérios necessariamente observados em estudos preliminares para implantação de projetos de drenagem, nota-se nítida preocupação com o critério ambiental, na medida em que esse critério se relaciona aos demais (físico, hidrológico), diferentemente do que se fazia até alguns anos. A tendência atual na escolha de soluções de drenagem é no sentido de que ao se considerar esse critério sejam preferidas alternativas que compensem os impactos causados pela urbanização, privilegiando a manutenção das condições de pré-urbanização. Nesse sentido verifica-se a importância de se conhecer outros critérios derivados desse fator.

3.6.2. Impactos causados pela urbanização no ciclo hidrológico

O desenvolvimento urbano trouxe e ainda traz impactos consideráveis para o meio ambiente. Especialmente no ciclo hidrológico os impactos causados pela urbanização foram negativos, culminando em conseqüências graves entre as quais as enchentes e inundações. Nesse sentido a preocupação com o aspecto ambiental ganha importância na medida em que sofre influência das transformações impostas pelo desenvolvimento urbano, razão pela qual deve haver preocupação com as condicionantes de quantidade e qualidade dos fatores ambientais na implantação de um sistema de drenagem.

Como conseqüências dos problemas apontados verifica-se impactos não só no aspecto ambiental, mas também no aspecto social.

Até bem pouco tempo os projetos de drenagem não consideravam fatores ambientais por terem sido desenvolvidos por uma concepção higienista, cujo princípio de funcionamento era a rápida evacuação das águas locais para jusante. A partir da década de 70 a concepção de sistemas de drenagem passou por um processo de reformulação em que foram propostas estruturas que procuravam reproduzir as condições de pré-urbanização, através de dispositivos de armazenamento e infiltração, reduzindo dessa forma a probabilidade de ocorrência de enchentes e inundações. Nesse sentido o critério ambiental passou a ser considerado preponderantemente para a definição do projeto de drenagem.

Entre outras conseqüências verificou-se também que a urbanização além de impactos ao meio ambiente trouxe também problemas a saúde humana, observados pela proliferação de doenças de veiculação hídrica, adquiridas pelo contato com águas superficiais poluídas por resíduos industriais ou dejetos animais, ou ainda pela contaminação de corpos d'água receptores utilizados para o abastecimento. Nesse sentido os impactos da urbanização trouxeram conseqüências também ao aspecto social, no que tange a saúde humana e a qualidade de vida.

Grotehusmann *et al.* (1994) desenvolveu um trabalho de análise de um sistema de bacias e trincheiras interconectadas como alternativa as soluções clássicas, para a extensão e renovação da drenagem urbana na Alemanha, por terem sido apontadas necessárias mudanças na rede de algumas cidades impostas por restrições em leis de poluição. O

critério ambiental considerado nesse trabalho se relaciona não só as condições de pré-urbanização reproduzidas por sistemas que utilizam infiltração e armazenamento, mas também porque esses sistemas proporcionam uma redução nos poluentes das águas de drenagem, fato que foi testado no referido trabalho.

Ainda com relação ao critério ambiental no que se refere ao aspecto qualidade da água superficial e poluição, Gomes (2004) fez um estudo quantitativo e qualitativo da água de drenagem urbana, em que se pôde observar a quantidade e magnitude de poluentes, demonstrando que nesse aspecto a urbanização contribuiu para a degradação da qualidade da água de drenagem pluvial.

Porto (1995) após descrever as fontes de poluição causada pelo escoamento superficial urbano afirma que o controle da poluição difusa deve ser feito antes do lançamento da drenagem no corpo receptor. Lista como medidas de controle as chamadas BMPs (Best Management Practices) que também reduzem o volume escoado total. Como medidas não estruturais, cita o controle do uso do solo urbano, regulamentação para áreas de construção, preservação de áreas verdes; controle de ligações clandestinas, varrição de ruas e etc. Das medidas estruturais cita as faixas gramadas, valetas gramadas, pavimentos porosos, bacias de retenção secas e alagadas, e alagadiços.

Von Sperling (2003) descreve um estudo em desenvolvimento sobre a avaliação da qualidade da água em cerca de 50 bacias de retenção francesas, para chamar a atenção sobre os efeitos dessas estruturas não só no controle de enchentes mas também na qualidade da água. O autor destaca por fim a carência de desenvolvimento de trabalhos científicos nesse sentido.

Outro trabalho em que há preocupação com aspecto ambiental é o de Milograna e Campana (2005) que fizeram um estudo de duas bacias de retenção localizadas na cidade de Brasília, avaliando-se seus desempenhos no controle do escoamento e na melhoria da qualidade da água de drenagem, cujos resultados apontaram ganhos em ambos os fatores qualitativo e quantitativo.

Com relação à melhoria da qualidade da água, há dispositivos de drenagem que funcionam de modo a reduzir a concentração de poluentes na drenagem urbana. Estruturas que

funcionam por infiltração e detenção auxiliam na melhoria da qualidade da água, tais como as citadas por Urban Drainage and Flood Control District (1999) conforme as tabelas 3.10 e 3.11.

Tabela 3.10 – Taxa de redução de poluentes do escoamento superficial (Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999)

Tipo de BMP	TSS	TP	TN	TZ	TPb	DBO	Bactéria
Bacia de detenção gramada	10-50	0-30	0-10	0-10	N/A	N/A	N/A
Vala gramada	20-60	0-40	0-30	0-40	N/A	N/A	N/A
Pavimento poroso de bloco modular	80-95	65	75-85	98	80	80	N/A
Pavimento poroso com detenção	8-96	5-92	-130-85	10-98	60-80	60-80	N/A
Bacia de detenção estendida	50-70	10-20	10-20	30-60	75-90	N/A	50-90
Bacia em alagadiços	40-94	-4-90	21	-29-82	27-94	18	N/A
Bacia de detenção	70-91	0-79	0-80	0-71	9-95	0-69	N/A
Plano de infiltração de areia de detenção	8-96	5-92	-129-84	10-98	60-80	60-80	N/A
Canal em alagadiços	20-60	0-40	0-30	0-40	N/A	N/A	N/A

Legenda:

TSS – Sólidos suspensos totais;
 TP – Fósforo total;
 TN – Nitrogênio total;
 TZ – Zinco total;
 TPb – Chumbo total;
 DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio;
 N/A – Não avaliado

Tabela 3.11 – Porcentagem de redução média dos poluentes do escoamento superficial (Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999)

Tipo de BMP	TSS	TP	TN	TZ	TPb	DBO	Bactéria
Bacia de detenção gramada	30	15	5	5	NA	NA	NA
Vala gramada	40	20	15	20	NA	NA	NA
Pavimento poroso de bloco modular	87,5	65	80	98	80	80	NA
Pavimento poroso com detenção	52	48,5	-22,5	54	70	70	NA
Bacia de detenção estendida	60	15	15	45	82,5	NA	70
Bacia em alagadiços	67	43	21	26,5	60,5	18	NA
Bacia de detenção	80,5	39,5	40	35,5	52	34,5	NA
Plano de infiltração de areia de detenção	52	48,5	-22,5	54	70	70	NA
Canal em alagadiços	40	20	15	20	NA	NA	NA

No que concerne ao aspecto social, outra preocupação com relação à concepção dos sistemas de drenagem e aos impactos da urbanização é o controle de doenças, fato que era uma das premissas da concepção dos sistemas clássicos, inspirados num modelo higienista. Existem estudos que apontam o aparecimento de doenças associadas a carência ou precariedade dos sistemas de drenagem urbana.

Souza (2001) fez um levantamento das doenças ligadas a deficiência de sistemas de drenagem, indicando agente etiológico, sua transmissão e métodos de prevenção e controle. Nesse trabalho o autor desenvolveu um modelo causal apontando condições ambientais ocasionadas pela deficiência dos sistemas de drenagem e a transmissão de doenças. Nesse modelo, construído através de técnica Delphi, pode-se verificar pelo menos seis doenças pré-selecionadas cuja transmissão estava associada à carência e precariedade dos sistemas de drenagem urbana.

Soares *et. al* (2003), discute aspectos a serem considerados para o planejamento de sistemas de drenagem, destacando as questões técnicas relacionadas à saúde pública e a qualidade das águas superficiais. Dentre os aspectos considerados destaca a formulação de um modelo causal para explicar de que forma a carência ou a precariedade dos sistemas de drenagem urbana favorecem a ocorrência de doenças, e a avaliação do impacto do lançamento de águas pluviais em corpos d'água. Apontou pelo menos doze doenças relacionadas a alagadiços e inundações.

Ainda com relação ao aspecto social, um outro problema derivado do crescimento populacional e da urbanização é a crescente demanda por água potável. A excessiva quantidade de água que é a causa de vários problemas, pode se tornar solução para outros. Isso se percebe pela possibilidade de armazenamento de água precipitada.

Nesse sentido é necessário citar o desenvolvimento de sistemas de drenagem com objetivos voltados para o aproveitamento das águas pluviais, o que além de ser encarado como ação comprometida com aspecto ambiental, visto que privilegia o uso racional da água, tem conseqüências de ordem social, já que há benefícios para a sociedade, além de também funcionar como controle de inundações.

Algumas pesquisas mostram a preocupação com a redução do consumo de água potável associada a redução de ocorrência de inundações.

Siqueira Campos (2004) desenvolveu um estudo sobre o aproveitamento da água pluvial em edifícios residenciais onde enfocou principalmente o uso da água proveniente da chuva para fins em que a qualidade não era necessária. Cita exemplos de utilização de águas pluviais em diversos países do mundo como Japão, França, Austrália, Canadá, entre outros, para fins como descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins, lavagem de pisos, passeios e automóveis, descrevendo como vantagens a redução do consumo de água potável, ganhos econômicos e o controle de inundações.

Um estudo em uma residência em Ribeirão Preto, São Paulo, baseou-se na demanda por habitante-dia e no custo de água mensal, e foi observada uma economia de 43% do valor a ser pago pela redução do uso de água potável. (Siqueira Campos *et al.* 2003 *apud* Siqueira Campos 2004).

Da mesma forma observa-se nos trabalhos de Fendrich (2002) *apud* Siqueira Campos (2004) que fez simulações de custo e retorno do investimento em áreas residenciais e comerciais constatando, de fato, economia no consumo médio mensal em ambas as situações.

Barcelos e Felizzato (2005) apresentam uma proposta de redução do consumo de água potável e do risco de inundações pela captação e armazenamento da água da chuva. Nesse trabalho foram verificados o potencial de aproveitamento de águas pluviais e ainda os padrões de qualidade da água. Como resultados, afirmam haver viabilidade da técnica e vantagens como quantidade suficiente para o suprimento de água em alguns meses do ano, mostrando qualidade de água boa para fins não potáveis.

Ferreira e Baptista (2005) desenvolveram um estudo para avaliar a possibilidade de utilização das caixas de detenção como reservatórios para o uso das águas pluviais como fonte de atendimento complementar à demanda avaliando inclusive sua viabilidade técnica e econômica. Os autores constataram que o ganho econômico obtido com o uso das águas pluviais é dependente do critério adotado para o dimensionamento do reservatório,

variando segundo o tipo de edificação. Nos estudos de caso propostos concluíram que as águas pluviais atendem ao consumo em períodos chuvosos, não o fazendo no período seco.

Esses trabalhos permitem verificar que o aspecto ambiental, bem como o social deve ser também considerado na avaliação de sistemas de drenagem. Percebe-se ainda que o aspecto ambiental no que se refere à qualidade das águas superficiais e a possibilidade de armazenamento, está estreitamente relacionado ao aspecto social, já que se esses aspectos se referem essencialmente a saúde humana e a demanda por água.

Em resumo os critérios associados aos impactos da urbanização referem-se a impactos ambientais, expressos por inundações e na degradação da qualidade da água de drenagem pluvial e por conseguinte impactos sociais, no que se referem à saúde humana. Esses critérios são especificados a seguir para que se possa conhecer a abrangência de cada um deles numa avaliação de sistemas de drenagem urbana.

3.6.2.1 – Critério ambiental

O pressuposto de se estudar o critério ambiental se refere à possibilidade de uma obra causar impactos ambientais, que podem ser positivos ou negativos.

A importância de se observar o critério ambiental em qualquer obra é pelo seu papel no chamado Estudo de Impacto Ambiental (EIA), isso porque funciona como um pressuposto para a concessão de licenciamento ambiental. Além disso, tem importância fundamental para a manutenção de um meio ambiente ecologicamente equilibrado. Assim, quando da avaliação de um projeto de drenagem incide na possibilidade de se evitar dano ou potencializar os impactos positivos derivados da implementação da obra.

O critério ambiental pode ser avaliado por um amplo número de variáveis, ou sub-critérios, tais como, porcentagem de áreas verdes suprimidas, supressão ou criação de habitats; escoamento superficial resultante; qualidade da água de drenagem pluvial; etc.

3.6.2.2 – Critério social

O critério social está relacionado aos efeitos que o sistema de drenagem traria para a sociedade de um modo geral, considerando o estado atual de ocupação urbana e uma urbanização futura.

A importância de se considerar esse critério na avaliação de determinado projeto reside no fato de ser a sociedade o principal destinatário/usuário/beneficiário das benfeitorias e obras construídas. No caso da implantação dos sistemas de drenagem fica claro perceber que o controle de inundações é feito primordialmente em benefício da sociedade.

Nesse aspecto podem ser consideradas como variáveis a aceitação e preferência da população por determinada alternativa de projeto, benefício social (estimativa relacionada ao número de famílias atendidas pela obra de saneamento), impactos na saúde humana (já que se trata de obra relativa a área de saneamento) relacionando melhora ou piora do sistema de drenagem com o número de doenças; criação de áreas recreativas, possibilidade de utilizar a obra para outros fins, tais como recreativos ou aproveitamento da água pluvial armazenada, etc.

Em síntese, considerando os dois grupos de fatores observados na definição dos critérios para avaliar sistemas de drenagem, os critérios identificados como necessários para tanto foram: físico, hidrológico, hidráulico, econômico, ambiental e social.

4- METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido com intuito de se propor uma metodologia que permita a consideração de múltiplos critérios na avaliação de sistemas de drenagem urbana, de modo a possibilitar a hierarquização de alternativas de sistemas de drenagem com vistas a seleção da mais recomendada.

O trabalho foi baseado em pesquisa bibliográfica que permitiu a determinação dos principais critérios a serem considerados quando da implantação de um projeto de drenagem. Além disso, permitiu a determinação das principais variáveis para a elaboração de indicadores, que exprimissem em valores numéricos esses critérios.

Os critérios definidos foram seis que são: o critério físico, o hidrológico, hidráulico, ambiental, econômico e social.

Para a seleção das variáveis um fator levado em consideração foi a possibilidade de observação antes e após a implantação do sistema de drenagem para que pudesse haver uma comparação em termos de impacto de cada alternativa de projeto. Outra condicionante para a seleção das variáveis foi a facilidade de avaliação e obtenção de dados da variável em projetos de drenagem urbana.

Uma observação importante é que as variáveis presentes em cada critério não são exclusivas, pois podem constar de um ou mais critérios quando há relação entre esses. Entretanto, quando da construção dos indicadores procurou-se delimitar a avaliação de fatores exclusivos, de modo que não houvesse avaliação redundante.

A tabela 4.1 apresenta uma lista das principais variáveis que poderiam compor os indicadores dentro de cada critério considerado.

Tabela 4.1 – Critérios e principais variáveis consideradas quando da avaliação de sistemas de drenagem urbana.

Critério	Variáveis
Físico	- Declividade; - Tipo de ocupação predominante; - Tipo e condições de solo;
Hidrológico	- Tempo de concentração; - Tempo ao pico; - Vazão de pico; - Intensidade de chuva;
Hidráulico	- Tempo de retorno; - Velocidade do escoamento; - Coeficiente de escoamento; - Dimensões das estruturas; - Grau de eficiência do sistema.
Econômico	- Custo de instalação; - Custo de manutenção; - Custo de operação; - TIR.
Ambiental	- Qualidade das águas; - Quantidade das águas;
Social	- Áreas recreativas; - Número de doentes; - Volume de água para aproveitamento.

4.1 – PROPOSIÇÃO DE INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM.

Na proposição dos indicadores procurou-se avaliar fatores exclusivos, muito embora seja fato a existência de natural inter-relação de critérios. Ademais, para que fosse reduzida a dependência da subjetividade presente nos processos de tomada de decisão, deu-se preferência para a proposição de indicadores de avaliação objetiva, em escala exclusivamente numérica.

Os indicadores propostos relativos a cada um dos critérios levantados são apresentados a seguir:

4.1.1. Critério Físico

Embora esse seja um dos primeiros critérios considerados para a implantação de sistemas de drenagem, na avaliação de alternativas possíveis a utilidade desse critério é reduzida, isso porque o critério físico é normalmente utilizado para uma etapa de eliminação de alternativas, já que são observadas as características da área, tipo de ocupação, redes já existentes, etc.

Há, porém, que se observar que em relação a alternativas possíveis e considerando impactos da urbanização, esse critério deve ser útil no sentido de verificar a ampliação ou não da quantidade de áreas impermeáveis, o que pode ocorrer com a adoção de uma ou outra alternativa.

A quantidade de áreas impermeáveis resultantes da implantação dos sistemas de drenagem é uma variável bastante significativa, já que está relacionada com a ocorrência de inundações pela redução da infiltração. Isso ocorre quando são implantados, por exemplo, sistemas com revestimento de material impermeável, como canais em concreto, etc.

- Alterações no meio físico

Para esse critério formulou-se um indicador de alterações físicas (I_f) que avalia se houve aumento ou redução de áreas impermeáveis de acordo com a alternativa utilizada, conforme a expressão a seguir:

$$I_f = \frac{A_{imp.1} - A_{imp.2}}{A_{imp.1}} \quad (4.1)$$

$A_{imp.1}$ = porcentagem de área impermeável antes da implantação do sistema (%).

$A_{imp.2}$ = porcentagem de área impermeável após a implantação do sistema (%).

Esse indicador apresentará valores negativos quando ocorrer aumento de área impermeável, e positivos se ocorrer redução da área impermeável. Terá seu limite máximo

igual a 1, caso a porcentagem de área impermeável seja reduzida a zero, representando a melhor situação.

A utilização desse indicador está condicionada a obtenção de dados de áreas impermeáveis, o que poderá ser necessária a utilização de fotos aéreas, cuja dificuldade de obtenção está associada especificamente ao custo.

4.1.2. Critério Hidrológico

Através desse critério deverá ser avaliado o desempenho hidrológico das alternativas de projeto. Para tanto foram especificados dois indicadores que se referem ao aumento ou redução do tempo ao pico (I_{H1}) e da redução ou aumento da vazão de pico (I_{H2}):

- *Aumento ou redução do tempo ao pico*

Esse indicador se refere ao desempenho hidrológico do sistema avaliado considerando se houve um aumento ou redução do tempo ao pico, o que significa que o sistema está funcionando de forma a retardar ou favorecer a ocorrência de enchentes. Esse indicador é especificado comparando-se os valores de tempo ao pico antes e depois da implantação do sistema de drenagem, considerando um evento de mesma intensidade.

Numericamente esse indicador pode ser obtido pelo aumento ou redução relativa do tempo de pico após a implantação do sistema de drenagem, conforme a seguinte expressão:

$$I_{H1} = \frac{T_{p2} - T_{p1}}{T_{p1}} \quad (4.2)$$

Onde:

T_{p1} = Tempo ao pico antes da implantação do sistema de drenagem;

T_{p2} = Tempo ao pico após a implantação do sistema de drenagem.

Esse indicador apresentará valores negativos quando ocorrer a redução do tempo ao pico, situação favorável a inundação, e valores positivos quando ocorrer retardo do tempo ao pico, ou seja, seu aumento, situação que indica retardo da ocorrência de enchentes.

A pior situação será indicada pelo valor -1 , situação hipotética em que há redução máxima do tempo ao pico.

- *Redução ou aumento da vazão de pico*

Esse indicador também se refere ao desempenho hidrológico do sistema de drenagem proposto, isso porque a redução na vazão de pico significa o amortecimento da vazão que possivelmente seria responsável por uma inundação. O aumento dessa variável, necessariamente significa uma situação desfavorável, contribuindo para a ocorrência de inundações.

Algumas estruturas podem levar ao amortecimento das vazões mas não necessariamente ao aumento do tempo ao pico, razão pela qual são propostos no presente trabalho indicadores diversos.

Esse indicador pode ser obtido pela redução ou aumento relativo da vazão de pico, verificada antes e após a implantação da alternativa de sistema de drenagem.

$$I_{H2} = \frac{Q_{p1} - Q_{p2}}{Q_{p1}} \quad (4.3)$$

Onde:

Q_{p1} = Vazão de pico antes da implantação do sistema de drenagem;

Q_{p2} = Vazão de pico após a implantação do sistema de drenagem.

Os valores desse indicador podem ser negativos, quando ocorrer aumento da vazão ao pico, e positivos quando ocorrer redução da vazão de pico, ou seja, amortecimento da vazão, situação que indica que a alternativa está funcionando como controle de inundação.

Esse indicador apresenta como limite máximo o valor 1 caso a redução da vazão de pico seja máxima, isto é, seja igual a zero, hipoteticamente indicando portanto a melhor situação

4.1.3. Critério Hidráulico

Esse é um aspecto que deve ser obrigatoriamente observado quando da implantação de um sistema de drenagem, pois vai ser o critério inspirador para seu projeto e construção. Estando intimamente relacionado ao objetivo da implantação do sistema esse critério foi descrito sob a forma do indicador de risco da obra, I_R .

- Indicador de risco da obra

O tempo de retorno é uma variável que normalmente se refere ao risco para o qual está projetada a obra. Relaciona-se entre outros critérios ao critério econômico, pois quanto maior for o tempo de retorno, menor será o risco da obra, porém, de maior porte será essa obra e portanto de maior custo. Mas considerando apenas um critério isoladamente, a variável foi avaliada apenas para o critério hidráulico.

O indicador de risco da obra, adotado nesse trabalho foi proposto por Castro (2002). Representa o risco relativo da alternativa de projeto, podendo ser observado pela relação entre o tempo de retorno adotado no projeto e o tempo de retorno desejado, conforme a expressão a seguir:

$$I_R = \frac{T_R}{T_{RD}} \quad (4.4)$$

Em que:

T_R = tempo de retorno adotado;

T_{RD} = tempo de retorno desejável (ou recomendável).

Trata-se de uma avaliação com escala variando de 0 a 1, ou seja, com valores sempre positivos. Esse indicador quando apresenta o valor 1 indica a melhor situação e o menor risco o que significa o máximo de segurança a população destinatária da obra.

4.1.4. Critério Econômico

Trata-se de um dos critérios mais importantes para a avaliação de qualquer obra, não sendo diferente com projetos de drenagem.

A variável comumente utilizada é o custo, devendo ser considerados os custos de instalação, manutenção e operação de cada alternativa.

Neste trabalho é adotado o índice proposto por Moura (2004), conforme a seguinte expressão:

$$I_{CK} = \frac{\sum_{k=1}^{n_t} C_k}{C_k} \quad (4.5)$$

Onde:

I_{CK} : índice de custos referente à alternativa k;

k: alternativa em análise;

C_k : custos da alternativa k;

n_T : número de alternativas.

O indicador de custo se refere ao custo da alternativa comparado ao custo médio entre as alternativas. Moura (2004) considerou para a avaliação dos custos a somatória dos custos de instalação, e valor presente líquido dos custos de manutenção e operação de cada alternativa.

4.1.5. Critério Ambiental

Para a avaliação desse importante critério foram propostos os seguintes indicadores:

- *Impactos no meio ambiente;*

Existe uma natural dificuldade de quantificar impactos ambientais, isso porque, para o seu diagnóstico, deve ser considerada uma infinidade de fatores, fenômenos e componentes vivos (seres) que muitas vezes sua delimitação foge a capacidade humana.

Numa tentativa de simplificação da idéia de impacto ambiental delimitou-se seu conhecimento no aspecto florístico. Mesmo esse aspecto, quando descrito em termos de impacto ambiental depende de fatores como composição e densidade de vegetação. Esses

fatores, por sua vez influenciam fenômenos como interceptação e infiltração das águas da chuva no solo, implicando em impactos como aumento do escoamento superficial, e conseqüentemente enchentes. Como simplificação, na falta de uma variável que melhor exprima esses impactos, propõe-se nesse indicador a utilização da variável área verde, ou seja apenas a sua extensão, desconsiderando-se sua densidade de vegetação ou composição.

O indicador é avaliado pela relação entre a área verde antes e após a implantação do sistema de drenagem.

$$I_A = \frac{A_{verde2} - A_{verde1}}{A_{verde1}} \quad (4.6)$$

Em que:

A_{verde1} : Área verde antes da implantação do sistema de drenagem;

A_{verde2} : Área verde após a implantação do sistema de drenagem.

Embora não se possa quantificar numericamente os impactos ambientais decorrentes de alterações da área verde, esse indicador dá uma idéia da dimensão do impacto.

O indicador de impactos no meio ambiente apresenta valores negativos, quando há uma redução de áreas verdes, e positivos quando da implantação do sistema há a criação de áreas verdes. Atribui-se valor -1 quando a área verde resultante da implantação da obra for reduzida a zero, representando a pior situação.

- Indicador de qualidade das águas

As atividades desenvolvidas no meio ambiente urbano incluem a atividade industrial, transporte urbano, produção de gêneros alimentícios, entre outras. Essas atividades são responsáveis pela produção de resíduos e sedimentos que são depositados no solo e nos pavimentos construídos pela ação direta do homem ou pelo vento. Com a ocorrência das chuvas esses resíduos são carregados pela água causando poluição hídrica. Essa poluição é responsável pela degradação das águas superficiais especialmente quando o escoamento superficial tem como destino um corpo d'água receptor. A degradação da qualidade da

água de drenagem pode causar problemas à saúde humana, pelo contato com águas poluídas, pela proliferação de insetos vetores ou mesmo pela ingestão dessas águas.

Há estruturas de drenagem que incluem dispositivos que facilitam a depuração da água pluvial, como é o caso das bacias de retenção e dos poços de infiltração.

A formulação de um indicador de impacto na qualidade da água, ou de qualidade das águas, necessita de um amplo trabalho de monitoramento envolvendo as mais variadas estruturas e combinações de estruturas e analisando-se os parâmetros de qualidade da água. Contudo, sabe-se que não existem muitos trabalhos realizados com essa finalidade.

Na falta desses dados cita-se o trabalho de Urban Drainage and Flood Control District (1999) em que foram estudadas algumas estruturas, obtendo-se dados de alguns parâmetros de qualidade da água. Esses dados constam das tabelas 3.10 e 3.11, outrora citadas. As informações contidas nessas tabelas embasaram a formulação de um indicador de qualidade da água.

Das tabelas anteriormente citadas percebeu-se grande variação nas porcentagens de redução dos poluentes. Essas porcentagens de redução foram distribuídas em intervalos. De acordo com os intervalos de redução desses poluentes formulou-se a tabela 4.2. A cada faixa de intervalo atribuiu um valor de escore arbitrariamente de 2 em 2, de modo a tornar esses intervalos equivalentes. A partir dessa tabela são obtidos dados para compor o indicador de qualidade das águas (IQA).

Tabela 4.2 – Valores atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a porcentagem de redução.

Parâmetros	Limites		Escore					Intervalos (Δ)
	Min	Max	2	4	6	8	10	
TSS	30	87,5	30 a 41,5	41,6 a 53	53,1 a 64,5	64,6 a 76	76,1 a 87,5	11,5
TP	15	65	15 a 25	26 a 35	36 a 45	46 a 55	56 a 65	10
TN	-22,5	80	-22,5 a -2	-1,9 a 18,5	18,6 a 39	39,1 a 59,5	59,6 a 80	20,5
TZ	5	98	5 a 23,6	23,7 a 42,2	42,3 a 60,8	60,9 a 79,4	79,5 a 98	18,6
TPb	52	82,5	52 a 58,1	59,8 a 64,2	64,3 a 70,3	70,4 a 76,4	76,5 a 82,5	6,1
DBO	18	80	18 a 30,4	30,5 a 42,8	42,9 a 55,2	55,3 a 67,6	67,7 a 80	12,4

* Dados não obtidos nas estruturas enumeradas nas tabelas de referência (3.10 e 3.11), com legenda (N/A) recebem escore 0 (zero).

O indicador de qualidade da água é obtido através de uma soma ponderada dos escores atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a porcentagem de redução de poluentes resultante do uso de cada estrutura de drenagem.

Esse indicador é representado pela expressão a seguir:

$$IQA = \frac{0,25xTSS + 0,25xTP + 0,2xTN + 0,2xTZ + 0,05xTPb + 0,05xDBO}{10} \quad (4.7)$$

Os pesos atribuídos a cada parâmetro analisado foram estipulados arbitrariamente de modo que a soma dos pesos dos componentes do indicador (IQA) fosse igual a um.

Aroeira (2005) quando da proposição do ISA (índice de salubridade ambiental) para o Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte (PMS-BH), atribuiu os pesos dos indicadores setoriais que compõe o ISA de acordo com a carência no atendimento do serviço ou com a fragilidade dos indicadores ou dificuldade de caracterização.

De modo semelhante, o critério para atribuição dos pesos aos componentes do IQA foi a variação da porcentagem de redução de poluentes e a quantidade de dados avaliados. Os valores dos pesos se aproximaram de um, conforme a menor ou maior variação na porcentagem de redução de poluentes, bem como da quantidade de dados avaliados.

Portanto, aos parâmetros DBO e TPb foram atribuídos menores pesos por não terem sido avaliados em todas as estruturas de drenagem que constam das tabelas 3.10 e 3.11, exercendo portanto menor influência no IQA.

Aos parâmetros TN e TZ foram atribuídos pesos intermediários por serem parâmetros de maior variação em porcentagem de redução e portanto apresentando dados não estáveis.

Os maiores pesos foram atribuídos aos parâmetros TSS e TP por apresentarem as menores variações em porcentagem de redução de poluentes, demonstrando portanto maior confiabilidade de por conseguinte maior influência no IQA.

O indicador está compreendido no intervalo de 0 a 1, indicando uma melhor qualidade da água quanto mais se aproxima da unidade, já que indica uma maior redução de poluentes.

4.1.6. Critério Social

A sociedade é o principal destinatário da implementação de um projeto drenagem, visto que sua finalidade, ou seja, o controle de inundações, está necessariamente ligado ao interesse público. Ademais, a implantação de uma obra de drenagem causa notórias modificações no meio ambiente o que pode ser sentido nas atividades desenvolvidas no dia-a-dia da sociedade e refletindo ainda no bem estar da mesma.

O critério social foi avaliado conforme três indicadores sociais que exprimem a criação ou supressão de áreas de lazer (I_{SO1}), a redução ou aumento do número de doentes (I_{SO2}), e a possibilidade de aproveitamento das águas pluviais (I_{SO3}).

- Criação ou supressão de áreas de lazer

Verificadas modificações quando da implantação de um sistema de drenagem, constata-se que essas modificações podem causar eventualmente a criação ou supressão de áreas de recreação e lazer na bacia hidrográfica. O indicador ora citado foi proposto por Castro (2002) podendo ser medido através de uma avaliação objetiva na forma de uma relação entre áreas, sendo dado pela expressão a seguir:.

$$I_{SO1} = \frac{A_{re2} - A_{re1}}{A_{re1}} \quad (4.8)$$

Onde:

A_{re1} = Área de recreação e lazer antes da implantação do sistema de drenagem;

A_{re2} = Área de recreação e lazer após a implantação do sistema de drenagem.

O indicador apresenta valores positivos e negativos. Os valores positivos são resultantes de criação de áreas de lazer e negativos resultantes da supressão dessas áreas. Atribuiu-se valor -1 à pior situação, em que a área de recreação e lazer tenha sido reduzida a zero.

- *Aumento ou redução do número de doentes*

A implantação de sistemas de drenagem, além do progresso no desenvolvimento urbano representa também uma ação de saneamento. Essa foi a concepção inicial dos sistemas de drenagem clássicos, que foram implantados segundo um conceito higienista.

Porém, há estudos em que foi verificada a ocorrência de doenças associadas à precariedade dos sistemas de drenagem (Souza, 2001 e Soares *et al.*, 2003), inclusive com o estabelecimento de um modelo causal. Citam-se como principais doenças relacionadas à ausência ou precariedade dos sistemas de drenagem a Febre Amarela Urbana, Dengue, Esquistossomose, Filariose, Leptospirose e Malária.

As causas dessas doenças podem estar relacionadas ao carreamento de resíduos e poluentes pela água da chuva, e pela proliferação de mosquitos vetores contaminados, sendo o problema agravado pela deficiência do sistema de saúde podendo inclusive acarretar a morte de pessoas.

O indicador proposto é medido pelo acréscimo ou redução do número de doentes, de doenças associadas a carência ou precariedade de sistemas de drenagem antes e após a implantação do sistema de drenagem proposto;

$$I_{SO2} = \frac{D_1 - D_2}{D_1} \quad (4.9)$$

Onde:

D_1 = Número de doentes antes da implantação do sistema de drenagem;

D_2 = Número de doentes após a implantação do sistema de drenagem.

Esse indicador apresenta valores positivos e negativos, sendo-lhe atribuído valor igual a 1 quando o número de doentes for reduzido a zero, considerando-se a melhor situação.

- Possibilidade de aproveitamento das águas pluviais

Os sistemas de drenagem modernos têm utilizado dispositivos de infiltração e armazenamento. Esses dispositivos contribuem para a estocagem e para a melhoria da qualidade das águas escoadas.

Em se tratando de uso das águas, em geral, dois fatores devem ser considerados que são a quantidade e a qualidade da água. Sabe-se, porém, que a para o consumo humano a água precisa de tratamentos específicos de purificação de modo a atender determinados padrões. Em se tratando de água não destinada ao consumo humano, o aspecto qualidade perde de certa forma a importância preponderando, no entanto o aspecto quantidade.

Estudos desenvolvidos recentemente sobre o aproveitamento das águas pluviais, utilizam o Método de Rippl para verificar o volume de água a ser armazenado, que está em função da área de captação e do regime de precipitações local, inclusive para o dimensionamento do reservatório a ser utilizado para fim de armazenamento da água (Siqueira Campos, 2004; Barcelos e Felizzato, 2005).

Fendrich e Oliynik (2002) definem o volume que pode ser armazenado para aproveitamento da água da chuva pela seguinte expressão:

$$V_{arm.} = A_c \cdot \bar{P} \cdot C \quad (4.10)$$

Onde:

A_c = a área da superfície de coleta (m²);

\bar{P} = altura média anual/mensal de chuva (m);

C = coeficiente de escoamento superficial.

Considerando-se a quantidade de água armazenada e a necessidade do seu uso para diversos fins, bem como os problemas de gestão da água devido à escassez e enchentes o indicador a seguir proposto representa a relação da capacidade de armazenamento do sistema pela demanda de água para fins não potáveis.

$$I_{SO3} = \frac{V_{arm}}{V_{dem}} \quad (4.11)$$

Onde:

V_{arm} = Volume armazenado pelo sistema (m³/tempo);

V_{dem} = Volume demandado pela cidade, região ou localidade (m³/tempo).

Os usos mais comuns de águas pluviais armazenadas em sistemas de drenagem incluem:

- lavagem de calçadas e carros,
- irrigação de gramados e jardins,
- descarga de bacias sanitárias.

O uso para consumo humano, como antes mencionado, não é considerado, pois apenas a filtração realizada no processo de infiltração, bem como a depuração que ocorre pela decantação das partículas em bacias ou outras estruturas não garantem um padrão de qualidade de água próprio para o consumo. Ademais em pesquisas envolvendo análise de parâmetros de qualidade da água poucos são os dados de coliformes, bactérias e DBO associados aos dispositivos de drenagem, razão pela qual a análise torna-se comprometida e assim também um posicionamento com relação ao uso das águas pluviais para o consumo humano.

Mesmo não sendo objeto de estudo é interessante saber que a demanda por água potável tem ampla margem de variação podendo variar entre os países no mundo, em países de região para região, entre cidades numa região e mesmo entre famílias, dependendo exclusivamente dos hábitos e necessidades diárias. A tabela A.1 (Apêndice A) apresenta médias de consumos de água por habitante/dia por regiões brasileiras apresentadas pelas companhias de abastecimento de água locais.

De acordo com Tomaz (1999) *apud* Barcelos e Felizzato (2005) o valor necessário para abastecer uma família composta por 4 pessoas em atividades de uso não potável tais como descarga na bacia sanitária, lavagem de roupas e lavagem de carros e varandas, durante um período de 4 meses é de 45m³, que é equivalente a 2,81m³/pessoa/mês.

O indicador ora proposto deve ser calculado com o auxílio de dados de consumo conhecidos, e na falta desses dados é adotado o valor sugerido por Tomaz (1999) *apud* Barcelos e Felizzato (2005).

O indicador apresentará valores sempre positivos, aproximando-se de zero quando a demandada for muito grande em relação a quantidade armazenada ou a quantidade de água armazenada for muito pequena em relação a quantidade demandada. Se o sistema de drenagem não oferecer nenhuma técnica compensatória que utilize armazenamento, o indicador será igual a zero, indicando a pior situação.

Os valores máximo e mínimo de cada indicador foram encontrados atribuindo-se valores aleatórios e extremos para as variáveis componentes dos indicadores, de modo que se verificasse o comportamento crescente ou decrescente dos mesmos com a mudança de valores. Esse procedimento é demonstrado em memorial de cálculo por meio de exemplos no Apêndice B.

Propostos os indicadores para compor a metodologia ora construída, a seguir é apresentada uma tabela resumo (Tabela 4.3) com dados de critérios levantados, indicadores propostos e selecionados, fatores observados, valores máximo e mínimo de cada indicador e o sentido de preferência do mesmo.

Observando-se a Tabela 4.3 verifica-se que os indicadores apresentam valores de limites máximo e mínimo muito variáveis. Considerando os diferentes limites de escala apresentados pelos indicadores propostos, na tentativa de uniformizar valores e facilitar os cálculos adotou-se uma escala única com dois limites, 0 e 10 arbitrariamente.

Tabela 4.3 - Resumo dos critérios levantados e indicadores propostos

Critérios	Indicadores	Sigla	Fatores observados	Escala		
				Min.	Max.	Sentido
Físico	Alterações no meio físico	I _f	Áreas impermeáveis	-∞	1	Crescente
Hidrológico	Aumento/Redução do tempo ao pico	I _{H1}	Tempo ao pico	-1	∞	Crescente
	Redução/Aumento da vazão de pico	I _{H2}	Vazão de pico	-∞	1	Crescente
Hidráulico	Risco da obra	I _R	Tempo de retorno	0	1	Crescente
Econômico	Custos	I _C	Custo de implantação, e VPL dos custos de operação e manutenção.	0	∞	Crescente
Ambiental	Impactos no meio ambiente	I _A	Área verde	-1	∞	Crescente
	Impactos na qualidade da água	IQA	Redução de poluentes	0	1	Crescente
Social	Criação/supressão de áreas de lazer	I _{SO1}	Áreas de lazer	-1	∞	Crescente
	Redução do número de doentes	I _{SO2}	Número de doentes	-∞	1	Crescente
	Possibilidade de aproveitamento da água armazenada	I _{SO3}	Volume armazenado e volume demandado	0	∞	Crescente

Aos indicadores que possuíam limites definidos, seus valores foram convertidos para a escala de 0 a 10 por meio de interpolação. Os indicadores que possuíam um dos limites indefinido (máximo ou mínimo) procedeu-se da seguinte maneira: foi atribuído o valor 0 para a pior alternativa, situação então considerada anti-ideal e 10 para a alternativa que se mostrasse melhor possível, considerando-a a situação, ideal. O valor para a alternativa intermediária foi encontrado por interpolação.

Assim os indicadores foram inicialmente calculados conforme as expressões propostas e posteriormente foram convertidos para a escala adotada. Com valores convertidos foi então aplicado o método multicritério adotado.

4.2 – MÉTODO MULTICRITÉRIO

A escolha do método multicritério foi baseada na facilidade de aplicação e disponibilidade de recursos, tais como obtenção de softwares.

A aplicação do método programação de compromisso se mostrou muito vantajosa pela facilidade de aplicação. Esse método muito embora não estivesse disponível em software, suas equações são facilmente reproduzidas em ambiente *excel*. Além disso é um dos métodos mais frequentemente utilizados na área de recursos hídricos.

- Programação de Compromisso

A Programação de compromisso é um método que se baseia na noção geométrica do melhor, onde são identificadas as soluções mais próximas da solução ideal, através de um procedimento de medida de distância. A solução ideal é definida como o vetor $f^* = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*)$, onde f_n^* são os melhores valores do conjunto finito dos $f_n(x)$, ou seja, f^* é formado pelo vetor dos melhores valores alcançados em cada critério/indicador.

O vetor com os piores valores f_n^{**} é utilizado para indicar a distância relativa da alternativa à solução mais desfavorável.

Uma das medidas de determinação da distância a uma solução ideal é sugerida por Goicochea *et al.* (1982) *apud* Harada (1999), pela seguinte fórmula:

$$L_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{f_i^* - f_i(x)}{(f_i^* - f_i^{**})} \quad (4.12)$$

onde λ_i são os pesos dos critérios i .

Assim, seleciona-se a alternativa com maior proximidade da solução ideal, isto é, a que apresenta um mínimo L_p , representando uma solução mais próxima da solução ideal.

Os indicadores propostos associados à aplicação de um método multicritério, permitem uma avaliação ampla de sistemas de drenagem, e por conseguinte a ordenação de alternativas de projeto possibilitando a escolha da alternativa melhor recomendada dentro dos critérios mencionados.

Depois de calculados os valores de indicadores, bem como feita a conversão para escala estipulada, deve ser aplicado o método multicriterial da programação de compromisso para a agregação dos indicadores e obtenção das distâncias das alternativas a solução ideal.

Para verificar e exemplificar o funcionamento da metodologia proposta, é necessária sua aplicação a um estudo de caso, que é objeto do próximo capítulo.

5 – ESTUDO DE CASO

Para testar a metodologia proposta foi escolhido um estudo de caso de uma região situada na cidade de Goiânia-GO, objeto de estudo do trabalho de Milograna (2001). pela facilidade de obtenção dos dados e pela utilização de diferentes alternativas de sistemas de drenagem.

5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo está localizada no Estado de Goiás, na cidade de Goiânia, com extensão aproximada de 17ha. Trata-se de uma região intensamente urbanizada, com densidade populacional prevista em cerca de 430 habitantes por hectare, conforme Lei de Zoneamento e Uso do Solo (1994), caracterizando-se em uma área de média densidade (Milograna, 2001).

A região em estudo está inserida dentro de uma sub-bacia da bacia hidrográfica do córrego Vaca Brava, o afluente mais extenso do córrego Cascavel. A bacia compreende parte de seis bairros, sendo eles Bueno, Bela Vista, Jardim América, Marista, Vila Santa Efigênia e Vila Americano do Brasil, além do parque Vaca Brava com a finalidade de oferecer lazer à população, principalmente durante os fins de semana e nos fins de tarde (Milograna, 2001).



Figura 5.1 – Localização da cidade de Goiânia

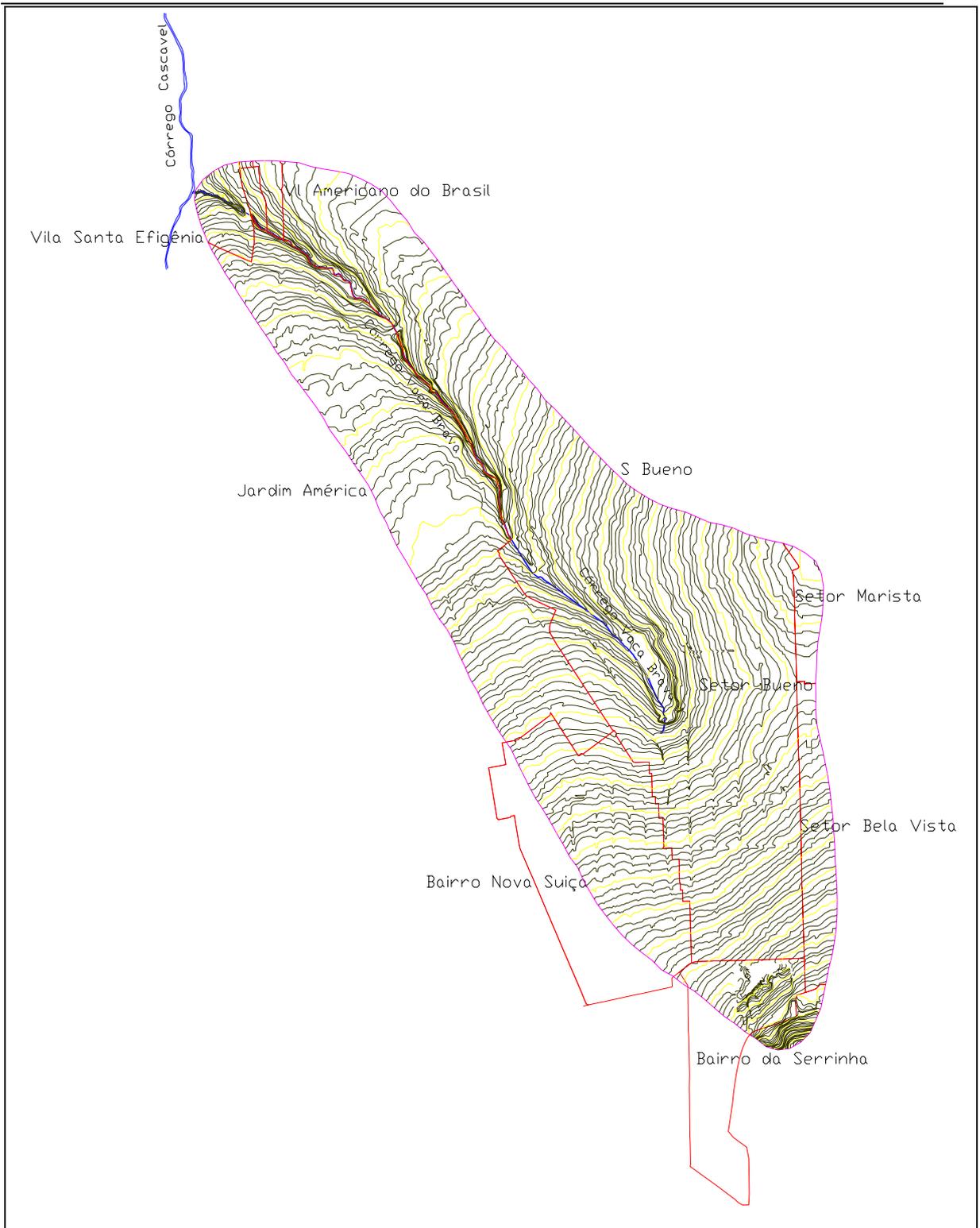


Figura 5.2 – Bacia do Córrego Vaca Brava (Milograna, 2001)

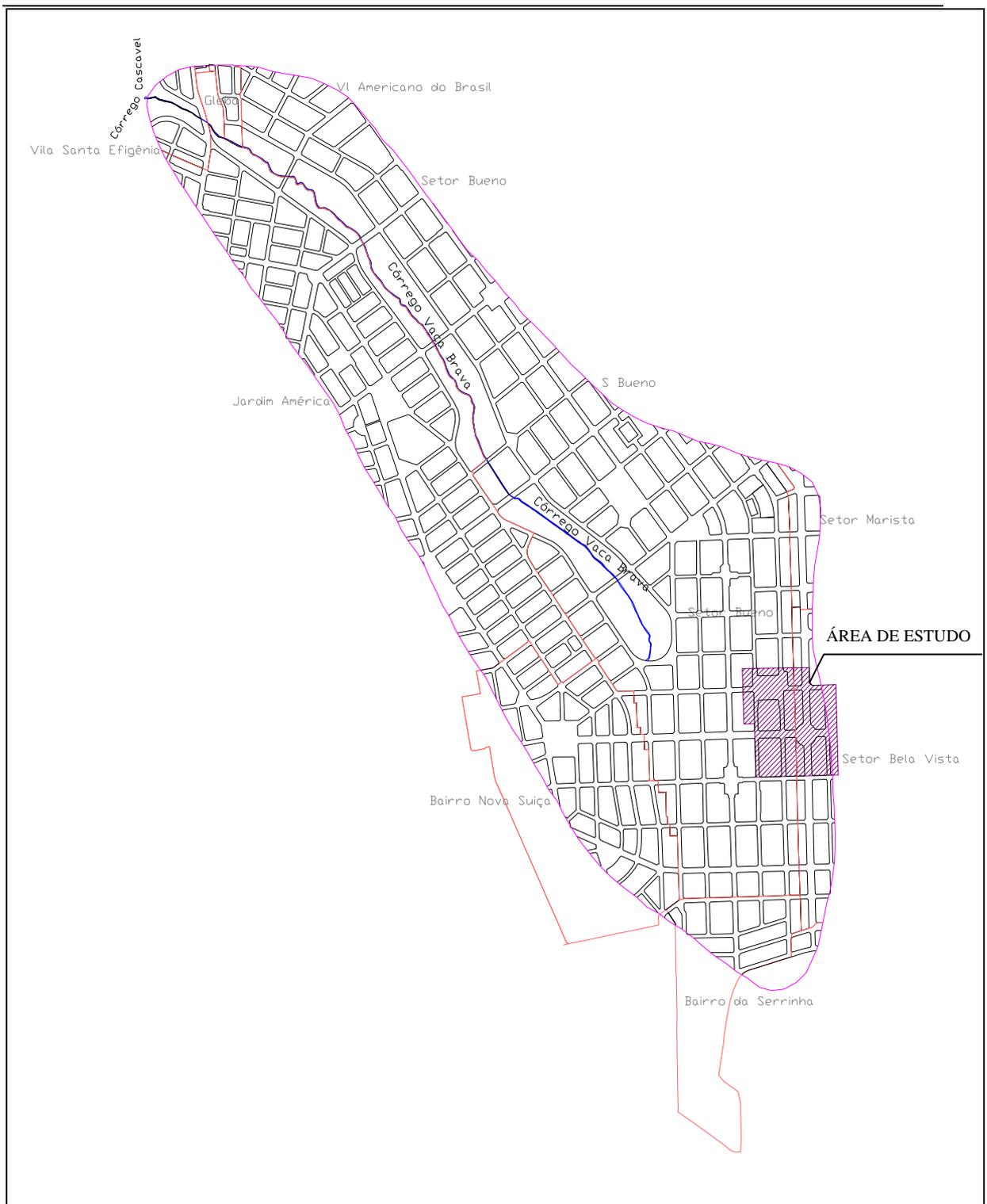


Figura 5.3 – Bacia do Córrego Vaca Brava com destaque na área de estudo
(Milograna, 2001)

5.2 – ALTERNATIVAS ESTUDADAS

Milograna (2001) desenvolveu o estudo associando as características de drenagem locais à existência de duas áreas públicas, a Praça T-25 e a rótula do encontro das avenidas T-63 e 85, nas quais foram consideradas como estruturas de controle de inundações. Outra alternativa no estudo foi a implantação de microrreservatórios em lotes, descrevendo uma alternativa com controle distribuído.

Assim pode-se perceber três alternativas de sistemas de drenagem em estudo, quais sejam:

- Alternativa I – Sistema clássico, com a adoção de uma rede separativa clássica sem respeitar as restrições de vazão a jusante.
- Alternativa II – Sistema intermediário (sistema de drenagem clássico associado a técnicas compensatórias) com a incorporação de duas bacias de detenção em área pública ligadas à rede de drenagem clássica.
- Alternativa III - Sistema intermediário (sistema de drenagem clássico associado a técnicas compensatórias), com a incorporação de pequenas bacias de detenção (microrreservatórios) na saída de cada lote, também ligadas à rede clássica de drenagem.

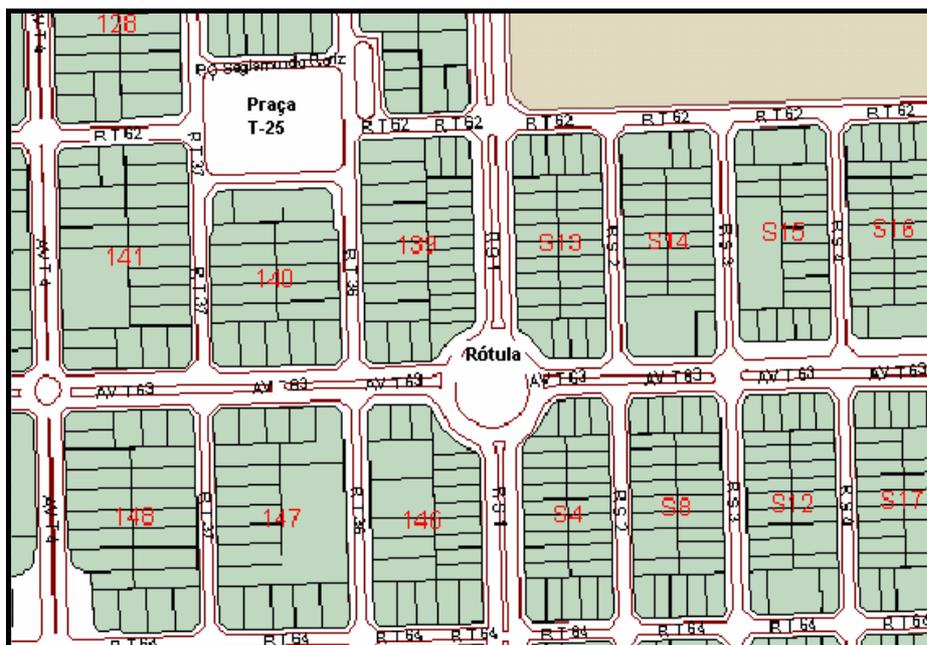


Figura 5.4 – Área de estudo - (Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia - MUBDG)

(Fonte: Prefeitura Municipal de Goiânia)

- Alternativa I – Sistema Clássico

A alternativa I foi desenvolvida segundo as técnicas clássicas de drenagem urbana, com um sistema de redes, direcionando toda a água escoada para um único exutório de jusante, em função do talvegue de escoamento do córrego já existente na área.

As simulações realizadas determinaram vazão de jusante de 4.369,52 l/s para o tempo de retorno de 5 anos, conforme o recomendado. Essa vazão foi comparada com a vazão de jusante para a área, para a situação de pré-urbanização de 2.724,89 l/s, o que demonstrou um grande acréscimo de vazão para o curso de água em função da urbanização.

O tempo ao pico (15 min) para as condições de pré-urbanização foi comparado com o tempo ao pico (11 min) após a implantação do sistema clássico, demonstrando uma piora dessa variável com o estabelecimento da rede de drenagem clássica. Dados de variáveis como áreas impermeáveis, áreas verdes, áreas de recreação e lazer constam do Apêndice C.

Como o sistema clássico não dispõe de nenhuma estrutura de armazenamento e/ou infiltração, ao indicador de impactos na qualidade das águas foi atribuído valor zero, e pelo mesmo motivo também ao indicador de possibilidade de aproveitamento de águas pluviais foi atribuído valor zero.

- Alternativa II – Sistema intermediário com controle centralizado

A alternativa II manteve as redes de drenagem estabelecidas na alternativa I. A essas redes foram adicionadas duas áreas públicas já existentes como reservatórios de retenção – a praça T-25 e rótula do encontro das avenidas 85 e T-63. Na simulação hidrológica realizada, o hidrograma amortecido pelo primeiro reservatório entrou novamente na galeria continuando a propagação do escoamento no restante da área. A praça T-25, como reservatório de jusante, foi a estrutura de retenção para o hidrograma final de propagação.

De acordo com as simulações a vazão máxima prevista a jusante, com tempo de retorno de 5 anos e com o amortecimento proporcionado pelos reservatórios em questão, foi de 2.456,8 l/s e portanto inferior à vazão referente à situação de pré-urbanização.

Com relação a variável tempo ao pico, observou-se o aumento do tempo ao pico indicando uma melhoria para essa alternativa, proporcionando condições desfavoráveis a inundações.

Para aplicação do indicador da possibilidade de aproveitamento de águas pluviais (I_{SO3}) foi considerada área de coleta a soma das áreas das duas bacias dessa alternativa, e a demanda média mensal considerada foi de 2,81 m³/habitante/mês. O volume com potencial de aproveitamento calculado foi de 302,98 m³/mês.

O volume de águas pluviais que pode ser armazenado para o aproveitamento, conforme anteriormente mencionado é função do histórico de precipitações local e da área de captação, cujos dados constam dos Apêndices D e E.

- Alternativa III – Sistema intermediário com controle distribuído

Na alternativa III a localização das redes de drenagem foi também mantida. Nessa alternativa foram adotados microrreservatórios, proporcionando a redução das vazões de pico. Os reservatórios foram locados na saída de cada lote, no lugar da caixa de inspeção. (Milograna, 2001).

As áreas e volumes necessários para cada reservatório foram determinados de acordo com as áreas dos lotes e a impermeabilização prevista, de forma a manter a jusante da área em questão uma vazão inferior à referente à situação de pré-urbanização da área.

Os cálculos realizados determinaram uma área total ocupada pelos reservatórios nos lotes de 2.493,62 m².

A vazão máxima prevista a jusante com o tempo de retorno de 5 anos e com o amortecimento proporcionado pelos reservatórios na saída das parcelas foi de 2.540,21 l/s.

Observou-se para essa alternativa um pequeno aumento no tempo ao pico, o que significa um retardamento no pico de cheia, além da redução da vazão de pico.

Para aplicação do indicador da possibilidade de aproveitamento de águas pluviais (I_{SO3}) foi considerada área de coleta a soma das áreas dos microrreservatórios, e a demanda média

mensal considerada foi de 2,81 m³/habitante/mês. O volume com potencial de aproveitamento calculado foi de 274,74 m³/mês, cujo demonstrativo de cálculo consta do Apêndice E.

A tabela 5.1 apresenta um resumo dos dados das variáveis necessárias para o cálculo dos indicadores propostos e selecionados nesse trabalho.

Tabela 5.1- Dados das variáveis das alternativas de drenagem estudadas

Variáveis	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III
A _{imp1} (%)	0,79	0,79	0,79
A _{imp2} (%)	0,79	0,81	0,80
T _{p1} (min)	15,00	15,00	15,00
T _{p2} (min)	11,00	21,00	16,00
Q _{p1} (l/s)	2.724,89	4.369,52	4.369,52
Q _{p2} (l/s)	4.369,52	2.456,80	2.540,21
TR (anos)	5,00	5,00	5,00
TRd (anos)	5,00	5,00	5,00
Custo (R\$)	896.807,37	595.408,65	403.061,60
A _{verde1} (m ²)	10.805,42	10.805,42	10.805,42
A _{verde2} (m ²)	10.805,42	8.055,42	10.805,42
IQA	0,00	0,67	0,67
A _{lazer1} (m ²)	36.106,1	36.106,1	36.106,1
A _{lazer2} (m ²)	36.106,1	36.106,1	34.329,95
Número de doentes 1 (pessoas)	-	-	-
Número de doentes 2 (pessoas)	-	-	-
Volume armazenado (m ³ /mês)	0,00	302,98	274,74
Volume demandado (m ³ /mês)	20.541,10	20.541,10	20.541,10

A área total de estudo é de 172.524,56 m², sendo 107.548,63 m² a área total de lotes, 54.570,51m² de vias pavimentadas e 10.805,42 m² o somatório da área da praça T-25 e da rótula de encontro das avenidas 85 e T-63.

Para o cálculo das variáveis áreas impermeáveis, áreas verdes, áreas de recreação e lazer foram feitas as seguintes considerações:

As áreas verdes da região de estudo foram consideradas apenas a soma da área da praça e da referida rótula. As áreas impermeáveis resultaram da soma das áreas impermeáveis dos lotes mais a área das ruas pavimentadas e a área de recreação e lazer a área verde (área da praça e da rótula) mais as áreas permeáveis disponíveis nos lotes.

A área impermeável resultante da implantação do sistema clássico foi considerada igual à área impermeável anterior a mesma, já que esse sistema é implantado abaixo das superfícies pavimentadas, não havendo contribuição para o aumento de áreas impermeáveis.

Para a alternativa II o valor de áreas impermeáveis foi obtido pela soma da área das vias pavimentadas, mais a área construída dos lotes mais a área dos reservatórios que compunham essa alternativa.

Para a alternativa III como alguns lotes já apresentavam 100% de área impermeável a construção dos microrreservatórios não contribuiu para o aumento de área impermeáveis nesses casos, razão pela qual foi deduzido o valor de áreas impermeáveis considerando-se lotes que apresentavam alguma parcela de área permeável. Esses dados constam do Apêndice C.

Com relação às áreas verdes da alternativa I, não houve alteração na extensão de áreas verdes, pois o sistema foi implantado sob as vias pavimentadas, não havendo portanto supressão de áreas verdes.

Para a alternativa II, os reservatórios ocuparam parcela de área verde disponível na região de estudo, já que essas compreendiam a área da praça e da rótula antes mencionada, sendo seu valor deduzido da área dos reservatórios implantados, havendo portanto supressão de áreas verdes.

Para a alternativa III, como os microrreservatórios seriam construídos nos lotes, e área permeável dos lotes não foi considerada área verde, não houve portanto a supressão dessas áreas resultante da implantação dessa alternativa.

Os valores de custos de cada alternativa foram levantados por Moura (2004), considerando custo de implantação, operação e manutenção e vida útil desses sistemas.

O IQA, conforme antes mencionado, foi inspirado no trabalho de UDFCD (1999). No referido trabalho o autor faz referência a redução de poluentes conforme a estrutura de drenagem estudada, não é mencionando a influência das dimensões dessas estruturas, razão

pela qual o cálculo do IQA para as alternativas estudadas levou em consideração apenas o tipo de estrutura e não suas dimensões, resultando portanto de um valor igual para as alternativas II e III. O demonstrativo de cálculo consta do Apêndice B.

Com relação às áreas de recreação e lazer essas foram consideradas a soma das áreas verdes e das áreas permeáveis dos lotes. Para a alternativa I como não houve criação ou supressão dessas áreas, o valor desse indicador foi igual a 0. Para a alternativa II houve a supressão de área verde (considerada área de recreação) mas não houve supressão de áreas permeáveis dos lotes (considerada também área de recreação). Deve-se considerar que houve supressão de área de recreação e lazer (supressão de área verde na praça) e ao mesmo tempo contribuição para a criação de áreas de lazer (espelho d'água na praça, chafariz na rótula) com valor de extensão igual ao da supressão, resultando num valor de indicador igual a zero. Para a alternativa III o valor da área de recreação e lazer (área verde e área permeável dos lotes) foi reduzido da área dos microrreservatórios, já que esses contribuíram para a supressão de áreas permeáveis nos lotes.

O indicador de aumento ou redução do número de doentes, para o presente estudo de caso não pode ser aplicado pela inexistência de dados, isso porque as alternativas apresentadas não foram implementadas e os dados apresentados são resultados de simulações, o que não é possível com relação ao número de doentes.

A tabela 5.2 apresenta os valores dos indicadores obtidos para as alternativas de sistemas de drenagem estudadas.

A tabela 5.3 apresenta os referidos valores de indicadores com a escala corrigida.

Tabela 5.2 – Indicadores calculados para as alternativas estudadas.

Alternativa/Indicador	I _f	I _{HI}	I _{HE}	I _R	I _C	I _A	IQA	I _{SO1}	I _{SO2}	I _{SO3}
I	0,00	-0,27	-0,60	1,00	0,70	0,00	0,00	0,00	-	0,000
II	-0,02	0,40	0,44	1,00	1,06	-0,25	0,67	0,00	-	0,015
III	-0,01	0,07	0,42	1,00	1,57	0,00	0,67	-0,05	-	0,013

Tabela 5.3 – Indicadores calculados para as alternativas estudadas, com escala corrigida.

Alternativa/Indicador	I _f	I _{HI}	I _{HE}	I _R	I _C	I _A	IQA	I _{SO1}	I _{SO2}	I _{SO3}
I	10,00	0,00	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00	10,00	-	0,00
II	0,00	10,00	10,00	10,00	4,13	0,00	10,00	10,00	-	10,00
III	5,00	5,07	9,81	10,00	10,00	10,00	10,00	0,00	-	8,67

5.3 – RESULTADOS

Calculados os valores dos indicadores, foi feita a agregação dos mesmos pelo método da Programação de Compromisso, conforme a equação 4.12, e obtido um valor de Lp.

As tabelas 5.4 a 5.7 demonstram os valores dos indicadores com pesos iguais a 3 para todas as alternativas, bem como o valor de Lp obtido.

Tabela 5.4 – Indicadores e valor de Lp da alternativa I

Alternativa I								
Indicador	Melhor (f*)	Pior (f**)	Pesos	Valor do indicador (f)	(1) (f* - f)	(2) (f* - f**)	(1)/(2)	Peso*(1/2)
I _f	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{H1}	10	0	3	0	10	10	1	3
I _{H2}	10	0	3	0	10	10	1	3
I _R	10	0	3	10	0	10	0	0
I _C	10	0	3	0	10	10	1	3
I _A	10	0	3	10	0	10	0	0
IQA	10	0	3	0	10	10	1	3
I _{SO1}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{SO3}	10	0	3	0	10	10	1	3
Lp								15

Tabela 5.5 – Indicadores e valor de Lp da alternativa II

Alternativa II								
Indicador	Melhor (f*)	Pior (f**)	Pesos	Valor do indicador (f)	(1) (f* - f)	(2) (f* - f**)	(1)/(2)	Peso*(1/2)
I _f	10	0	3	0	10	10	1	3
I _{H1}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{H2}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _R	10	0	3	10	0	10	0	0
I _C	10	0	3	4,13	5,87	10	0,587	1,761
I _A	10	0	3	0	10	10	1	3
IQA	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{SO1}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{SO3}	10	0	3	10	0	10	0	0
Lp								7,761

Tabela 5.6 – Indicadores e valor de Lp da alternativa III

Alternativa I								
Indicador	Melhor (f*)	Pior (f**)	Pesos	Valor do indicador (f)	(1) (f* - f)	(2) (f* - f**)	(1)/(2)	Peso*(1/2)
I _f	10	0	3	5	5	10	0,5	1,5
I _{H1}	10	0	3	5,07	4,93	10	0,493	1,479
I _{H2}	10	0	3	9,81	0,19	10	0,019	0,057
I _R	10	0	3	10	0	10	0	0
I _C	10	0	3	10	0	10	0	0
I _A	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{QA}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{SO1}	10	0	3	0	10	10	1	3
I _{SO3}	10	0	3	8,67	1,33	10	0,133	0,399
Lp								6,435

Observa-se que a alternativa III, o controle distribuído associado ao sistema clássico, obteve o menor valor de l_p , seguido da alternativa II e por último a alternativa I. A alternativa III apresentando menor valor de L_p mostra-se mais próxima da solução ideal, ou seja, é a solução mais recomendada.

Tabela 5.7 – Ordenação das alternativas segundo a análise multicritério com peso 3 para todos os indicadores

Ordem	Alternativas estudadas	Valor de l_p
1º	Alternativa III	6,435
2º	Alternativa III	7,761
3º	Alternativa I	15,00

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente cumpre esclarecer que não foi realizada a consulta a especialistas para a obtenção dos pesos dos indicadores, razão pela qual atribuiu-se peso igual para todos. Isso se justifica por motivos, entre os quais, ser essa uma etapa que demande tempo dos especialistas, além de ser totalmente subjetiva, podendo-se obter variados pesos de acordo com o local em que fosse realizada a consulta, já que os problemas de drenagem, e portanto importâncias e preferências, de um lugar são quase sempre diferentes de outros. Preferiu-se por esses motivos realizar um trabalho isento de subjetividade.

Uma importante fase de um trabalho que envolve análise multicritério é a análise de sensibilidade, que tem a finalidade de verificar o quão sensível é a alternativa preferida quanto às mudanças nos juízos emitidos pelo decisor (Gomes *et al.*, 2004).

Muito embora não tenham sido atribuídos pesos aos indicadores por meio de consulta a especialistas, a análise de sensibilidade é absolutamente necessária para verificar a resposta da metodologia usada, ou seja, o que ocorre em termos de resultado se forem dados maiores pesos ao critério ambiental, social, econômico, etc.

A análise de sensibilidade consiste em realizar a análise multicritério variando determinados parâmetros, tais como pesos e os valores de indicadores obtidos por avaliação subjetiva, verificando, por fim, quais são os mais sensíveis e que condicionam a classificação final das alternativas.

Considerando que cada critério levantado foi expresso em um ou mais indicadores, a análise de sensibilidade foi feita pela alteração do peso em cada grupo de indicadores, dentro de seus respectivos critérios.

Assim, numa primeira abordagem foram aumentados os pesos dos indicadores em cada critério por vez, em um e dois pontos.

Numa segunda abordagem foram reduzidos os pesos de cada grupo de indicadores em um e dois pontos, da mesma forma um critério por vez.

Os resultados das análises supracitadas constam das tabelas 6.1 e 6.2.

Tabela 6.1 - Tabela de ordenação das alternativas com aumento de 1 e 2 pontos nos pesos dos indicadores em cada critério e respectivos valores de Lp.

Indicadores	Ordem das alternativas com aumento de 1 ponto no valor dos pesos dos indicadores			Ordem das alternativas com aumento de 2 pontos no valor dos pesos dos indicadores		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
I _f	III (6,935)	II (8,761)	I (15)	III (7,435)	II (9,761)	I (15)
I _{H1} , I _{H2}	III (6,947)	II (7,761)	I (17)	III (7,459)	II (7,761)	I (19)
I _R	III (6,435)	II (7,761)	I (15)	III (6,435)	II (7,761)	I (15)
I _C	III (6,435)	II (8,438)	I (16)	III (6,435)	II (8,935)	I (16)
I _A e IQA	III (6,435)	II (8,761)	I (16)	III (6,435)	II (9,761)	I (17)
I _{SO1} e I _{SO3}	III (7,568)	II (7,761)	I (16)	III (8,701)	II (7,761)	I (17)

Como se pode observar, o aumento de um e dois pontos nos pesos dos indicadores não influenciou a resposta da metodologia proposta, mantendo-se ainda como melhor classificada a alternativa III.

Tabela 6.2 - Tabela de ordenação das alternativas com redução de 1 e 2 pontos nos pesos dos indicadores em cada critério e respectivos valores de Lp.

Indicadores	Ordem das alternativas com redução de 1 ponto no valor dos pesos dos indicadores			Ordem das alternativas com redução de 2 pontos no valor dos pesos dos indicadores		
	1°	2°	3°	1°	2°	3°
I _f	III (5,935)	II (6,761)	I (15)	III (5,435)	II (5,761)	I (15)
I _{H1} , I _{H2}	III (5,923)	II (7,761)	I (13)	III (5,411)	II (7,761)	I (11)
I _R	III (6,435)	II (7,761)	I (15)	III (6,435)	II (7,761)	I (15)
I _C	III (6,435)	II (7,174)	I (14)	III (6,435)	II (6,587)	I (13)
I _A e IQA	III (6,435)	II (6,761)	I (14)	II (5,761)	III (6,435)	I (13)
I _{SO1} e I _{SO3}	III (5,302)	II (7,761)	I (14)	III (4,169)	II (7,761)	I (13)

Com a redução de 1 a 2 pontos nos pesos dos indicadores em cada grupo de critério a resposta inicial quase sempre se manteve, com exceção da redução em dois pontos no critério ambiental, sendo porém uma resposta compatível já que os valores dos indicadores para a alternativa II foram quase sempre os melhores em relação às outras alternativas, exceto com relação ao indicador de alterações no meio físico, ao indicador de custo e ao indicador de impactos no meio ambiente.

Em razão do indicador de impactos no meio ambiente (I_A) mostrar um pior valor para a alternativa II em relação às demais alternativas, nota-se que quando dada importância muito menor a esse indicador em relação aos outros indicadores, a alternativa mais recomendada é a alternativa II.

A alternativa III apresentou quase todos os valores melhores ou intermediários, em apenas um dos indicadores apresentou o pior valor em relação às demais alternativas, razão pela qual prevaleceu como a alternativa mais recomendada em quase todas as opções de análise de sensibilidade.

Os resultados dessa análise indicam que a metodologia proposta é eficiente e robusta, não apresentando quase nenhuma alteração na ordenação final das alternativas.

De um modo geral, os resultados permitiram constatar que as alternativas que utilizavam técnicas compensatórias são as mais recomendadas, prevalecendo quase sempre o controle distribuído, isto é, a alternativa III. O sistema clássico mostrou ser a pior alternativa, ou a menos recomendada.

Os valores de L_p de cada alternativa e a ordenação após a análise de sensibilidade constam do Apêndice F.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho objetivou a proposição de uma metodologia que permitisse avaliar alternativas de sistemas de drenagem, considerando os mais variados critérios. Através do conhecimento de funcionamento dos sistemas de drenagem existentes, seus efeitos sobre o escoamento, seus custos, vantagens e desvantagens, impactos, etc, foi possível elaborar um conjunto de indicadores que associados à aplicação de um método multicritério permitiu fazer uma avaliação global e uma hierarquização das alternativas de sistemas de drenagem estudadas.

O desenvolvimento desse trabalho permitiu obter algumas conclusões e recomendações para futuras pesquisas.

A utilização de indicadores como parâmetros de comparação mostrou ser uma ferramenta bastante útil num processo de tomada de decisão.

Os critérios e indicadores não foram submetidos a um processo de avaliação da importância para que o resultado do problema não sofresse qualquer influência de subjetividade, que é própria de um processo de tomada de decisão. No entanto comparando-se com avaliações anteriores do mesmo problema, em que foi considerada a atribuição dos pesos (Castro, 2002 e Moura, 2004), a ordenação das alternativas mostrou-se equivalente, o que demonstra que a metodologia proposta é eficiente e robusta.

Numa avaliação global dos indicadores propostos pode-se observar que alguns critérios poderiam ser avaliados também por outras variáveis, porém pela dificuldade de obtenção de dados não foram sequer propostos.

O critério econômico, geralmente avaliado pela variável custo, tem estreita relação com o critério social por razões óbvias. Esse critério, porém não se limita apenas a essa variável. Poderia ter sido avaliado pelo benefício, mais especificamente pelo benefício social proporcionado por cada alternativa, ou mesmo por prejuízos evitados. Entretanto, pela dificuldade de reunir dados para deduzir o que seria o benefício social, ou o quantum de prejuízo seria evitado, um indicador com essas variáveis seria inviável, pois demandaria

tempo para a reunião de informações, o que comprometeria o objetivo da utilização de indicadores num processo decisório, pois não haveria pronta resposta.

Com relação ao critério ambiental no que tange ao indicador ambiental de impacto na qualidade da água, notou-se a carência de produção científica no sentido de avaliar os efeitos dos sistemas de drenagem na qualidade das águas pluviais. Trata-se, portanto, de uma tímida proposta de verificação/avaliação desse aspecto. Diante da escassa produção científica justifica-se a natural dificuldade de encontrar variáveis e parâmetros numéricos para a avaliação das alternativas de projeto. Há relatos, porém, que mencionam que pela estratégia de funcionamento, as técnicas alternativas condicionam a melhoria da qualidade da água de drenagem. Nota-se portanto, a flagrante necessidade de se desenvolver estudos de monitoramento da qualidade das águas pluviais associados ao uso de técnicas compensatórias de drenagem, para que sejam estabelecidos dados confiáveis e definidos os principais parâmetros e variáveis a serem observadas, para por fim se propor outros indicadores para esse critério.

Dentro do critério social não foi avaliado o indicador de aumento ou redução do número de doentes (I_{SO_2}), visto que embora proposto para servir de resposta no aspecto social, como o estudo de caso selecionado foi aplicado com dados de simulações, não se pôde obter resultados para esse indicador, embora se espere que também as alternativas que incluíam técnicas compensatórias proporcionassem uma melhor resposta para esse indicador ou seja, a redução no número de doentes nas doenças relacionadas a precariedade ou carência dos sistemas de drenagem. Uma observação cabível quanto a esse indicador é que sua resposta, quando possível, pode estar relacionada a um histórico local de doenças de veiculação hídrica e não necessariamente associada à problemas do sistema de drenagem.

Ainda com relação aos indicadores, verificou-se que o indicador de risco da obra, relacionado ao critério hidráulico, não foi determinante na ordenação das alternativas, isso porque para a execução do projeto geralmente é adotado o tempo de retorno desejável. Muito embora seja uma variável de suma importância, aconselha-se que esse indicador seja avaliado por outra variável, ou ainda que seja formulado um indicador que avalie, por exemplo, a eficiência hidráulica dos sistemas.

Outra observação é cabível quanto ao indicador de impactos no meio ambiente, cuja variável utilizada foi a extensão de área verde. A área verde e o critério ambiental estão intimamente relacionados ao critério físico, com a variável área impermeável, podendo ocorrer avaliações redundantes em algumas aplicações em estudos de casos, quando as áreas permeáveis forem coincidentemente às áreas verdes.

O presente trabalho foi associado a apenas uma metodologia multicritério, mesmo porque alguns trabalhos indicam que a aplicação de um ou outro método não tem influência no resultado (Castro, 2002; Moura, 2004). A aplicação de outros métodos multicriteriais serviria apenas para enriquecer a pesquisa.

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se o desenvolvimento de outros indicadores com outras variáveis que representem melhor cada critério, ou complementem a avaliação dos mesmos.

Outra recomendação é a realização de consulta a especialistas para os indicadores propostos para verificar a real influência dos pesos nesse trabalho, para também atestar a real robustez da resposta da metodologia proposta. Recomenda-se ainda a aplicação de outros métodos multicriteriais para o enriquecimento da pesquisa.

Como os indicadores podem se mostrar por vezes redundantes, avaliando um e outro critério relacionado, recomenda-se ainda uma avaliação de cada um deles considerando a não redundância dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agra, S. G. (2001). *Estudo Experimental de Microrreservatórios para controle do escoamento superficial*. Dissertação de Mestrado. Instituto de pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 105p.
- Almeida Neto, P.; Ohnuma Júnior, A. A.; Cunha, A. P. S. R.; Leite, M. R. e Mediondo, E. M. (2005). *Estudo Hidrológico de Cobertura Verde Leve como Alternativa para Controle do Escoamento em Lotes Domiciliares*. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa (Brasil), 20 a 24 de Novembro de 2005.
- Araújo, P. R.; Tucci, C. E. M. e Goldenfum, J. A. (2000). “Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial”. *RBRH*. **5**(3).
- Aroeira, R. M. (2005). “A viabilidade do emprego de indicadores no planejamento de intervenções em drenagem urbana – A experiência de Belo Horizonte”. *Anais Eletrônicos do VI Encontro Nacional de Águas Urbanas*. Belo Horizonte, MG.
- Azzout, Y. Barraud, S; Crês, F. N. e Alfakih, E. (1994). “Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial: Choix, Conception, Réalisation et Entretien”. *Technique et Documentation*. Lavoisier. Paris, França. 372p.
- Azzout, Y. Barraud, S; Crês, F. N. e Alfakih, E. (1995). “Decision aids for alternative techniques in urban storm management”. *Water Science and Technology*. **32**(1), 41-48.
- Baptista, M. B. (2004). “Sistema de Auxílio à Decisão em Drenagem Urbana”. *Anais Eletrônicos do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*. Goiânia, GO.
- Baptista, M. B. (2006) – Técnicas compensatórias em drenagem urbana. *Hidrologia Urbana*. <http://www.ehr.ufmg.br/docsehr/posgrad29.pdf> - Acesso em 13/02/2006.
- Baptista, M., Barraud, S. e Alfakih, E. (2001). *Analyse de données pour l’élaboration d’indicateurs technico-économique de systèmes alternatifs en assainissement pluvial*. NOVATECH.
- Baptista, M. B; Nascimento e N; Barraud, S. (2005) *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre.
- Baptista, M. B; Nascimento, N. O.; Souza, V. C. B. e Costa, L. S. G. M. (1998). “Utilização de Tecnologias Compensatórias no Projeto de um Sistema de Drenagem Urbana”. *II Simpósio de Recursos Hídricos do Cono Sur*. Santa Fé. Argentina.

- Barbosa, P. S. F. (1997). “O Emprego da Análise Multiobjetivo no Gerenciamento dos Recursos Hídricos Brasileiros”. *Água em Revista*. Ano V, nº 8, março, 42-46.
- Barcellos, L. O. (2003). *Definição de regras operativas de Reservatórios com usos múltiplos: o caso da barragem do bica da Pedra*. Dissertação de Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 169 p.
- Barcelos, B. R. e Felizzato, M.R. (2005). “Aproveitamento das águas atmosféricas.” *Anais Eletrônico do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Campo Grande, MS.
- Barraud, S. (2001). OTHU. Indicateurs de performance de stratégies d’assainissement pluvial par infiltration: Analyse critique. Fiche technique Othu no. 9. Insa. Lyon, França.
- Barraud, S.; Azzout, Y.; Cres, F. N. e Chocat, B. (1999). “Selection aid of alternative Techniques in Urban Storm Drainage – Proposition of an Expert System” – *Water Science and Technology*. **39**(4). 241-248.
- Batista, M. E. M.; Lima, E. R. V e Silva, T. C. (2005) “ Indicador de performance de sistemas de drenagem Urbana por vias, setores censitários e bairros” In *XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. João Pessoa, PB.
- Braga, B. e Gobetti, L. (1997). “Análise Multiobjetivo”. In: Porto *et.al.*(eds). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Editora Universidade /UFRGS/ABRH, Porto Alegre, Brasil, 361-418.
- Castro, L. M. A. (2002). *Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana*. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 118p.
- Certu. (Centre d’études sur les reseaux, les transports, l’urbanisme et les constructions publiques). (1998). “Techniques alternatives aux reseaux d’assainissement pluvial: éléments clés pour leur mise en oeuvre”. Edition du Certu. Lyon, França. 155p.
- CETE DU SUD-OUEST. (2003). Fascicule III – Les solutions compensatoires en assainissement pluvial. Le choix et quelques principes de conception et de realisation des techniques. Mission et delegation inter-services de l’eau des departement. Disponível em : www.languedoc-roussillon.environnement.gouv.fr , Acesso em 22/03/2006.

- Champs, J. R. B.; Perez, S. T.C. S. e Fróes, C. M. V. (2001). O Planejamento do Sistema de Drenagem Urbana na cidade de Belo Horizonte. Anais Eletrônico do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, PB.
- De Bonis, A.; Mascarenhas, F. C. B. e Miguez, M. G. (2005). “Estabelecimento de um Índice de Drenagem Urbana para definição da criticidade do problema de cheia urbana”. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa (Brasil).
- Ellis, J. B.; Deustsch, J.C.; Mouchel, J.M.; Scholes, L. e Revitt, M. D. (2004). “Multicriteria decision approaches to support sustainable drainage options for the treatment of highway and urban runoff” – Science of the Total Environment. .251-260.
- Fendrich, R. e Oliynik, R. (2002). *Manual de utilização das Águas Pluviais – 100 maneiras práticas*. Livraria do Chain Editora. Curitiba, PR.
- Ferreira, M. E. M. V. e Baptista, M. B.(2005). “Análise técnica e econômica da utilização de águas pluviais em sistemas hidráulicos prediais – Estudo de casos na RMBH”. *Anais Eletrônicos do VI Encontro Nacional de Águas Urbanas*. Belo Horizonte, MG.
- Genz, F. e Tucci, C. E. M. (1995). “Controle do escoamento em um lote urbano”. *RBE – Revista Brasileira de Engenharia*. Caderno de Recursos Hídricos. ABRH. V. 13, n ° 1. Porto Alegre.129-152.
- Gomes, L. F. A. M., Araya, M. C. G. e Carignano, C. (2004). *Tomada de Decisões em Cenários Complexos – Introdução aos Método Discretos do Apoio Multicritério à Decisão*. Ed. Thompson. São Paulo.
- Gomes, V. M. (2004). *Aspectos qualitativos e quantitativos da água de drenagem pluvial em sub-bacia urbana na cidade de Brasília-DF*. Dissertação de Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 85p
- Grotehusmann, D; Khelil, A.; Sieker, F. e Uhl, M. (1994). Alternative Urban Drainage Concept and Design. Water Scienc and Technology. Vol (29) nº 1-2. pp 277-282.
- Harada, A. L. (1999) – *Metodologia para a seleção de soluções para a coleta, tratamento e disposição de esgotos em condomínios do Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 186p.
- Januzzi, P.M. (2004). *Indicadores sociais no Brasil: Conceitos, fontes de dados e aplicações*. Alínea Editora. Campinas, SP. 141p.

- Kobayashi, M. M; Souza, R. S.; Steffen, J. L. e Viana, S. (2003). Processo de Cálculo Hidráulico de Sistemas de drenagem pluvial urbana. Anais Eletrônico do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR.
- Magalhães Junior, A. P. (2003). *Os indicadores como instrumento de apoio à consolidação da gestão participativa da água no Brasil: Realidade e perspectivas no contexto dos Comitês de Bacia Hidrográfica*. Tese de doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília. Brasília. 361p.
- Magalhães Junior, A. P.; Cordeiro Netto, O. M. e Nascimento, N. O. (2003). “Os indicadores como instrumento de gestão das águas no atual contexto legal-institucional do Brasil – Resultados de um painel de especialistas”. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* - 8 (4). 49-67.
- Magalhães, M.T.Q. (2004). *Metodologia para desenvolvimento de sistemas de indicadores: uma aplicação no planejamento de transportes*. Dissertação de Mestrado em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 135p.
- Milograna, J. (2001). *Estudo de medidas de controle de cheias em ambientes urbanos*. Dissertação de Mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos. Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília. 106p.
- Milograna, J. e Campana, N. A. (2005). Análise de Bacias de Detenção em Meio Urbano como Medida de Controle de Cheias nos Aspectos Quantitativos e Qualitativos. *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, PB.
- Moura, P. M. (2004). *Contribuição para avaliação global de sistemas de drenagem urbana*. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 146p.
- Moura, P. M.; Baptista, M. B. e Barraud, S. (2005). “Comparison between two methodologies for urban drainage decision aid”. In: *10th International Conference on Urban Drainage*. Copenhagen. Dinamarca.
- Nascimento, N. O.; Baptista, M. B. e Souza, V. C. B. (1997). “Sistema ‘Hidrourb’ para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem urbana – Parte I: Conceitos” *Anais Eletrônicos do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.

- NOVACAP (1999). Termo de Referência e Especificações para Elaboração de Projetos de Sistemas de Drenagem Pluvial. Distrito Federal.
- Pompêo, C. A. (1998). A evolução histórica do conceito de drenagem. Disponível em www.labdren.ufsc.br/drenagem/aulas/02_evolucao_historica_do_conceito_de_drenagem.ppt. Acesso em : 20/04/2005.
- Porto, M. F. A. (1995). “Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas”. In: Drenagem Urbana. (Org). Tucci, C. E.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH – Editora da Universidade. UFRGS. 387-428.
- Porto, R.; Zaehd F. K, Tucci, C. e Bidone, F. (2001). “Drenagem Urbana”. In: Tucci, C. E. M. (eds.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Ed. Universidade/UFRGS. 2ª edição. Porto Alegre. 805-847.
- Prefeitura Municipal de Goiânia. (1994) – Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo – Lei Complementar nº 31, de 29 de dezembro de 1994.
- Prefeitura Municipal de Goiânia. (2005) – MUBDG – Mapa Urbano Digital Básico de Goiânia – disponível em : www.goiania.go.gov.br , acesso em 19/12/2005
- SABESP – (2005). www.sabesp.com.br – Acesso em 19/12/2005.
- SIMEGO – Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia – Goiás (2006) – www.simego.sectec.go.gov.br - Acesso em 07/04/2006.
- Siqueira Campos, M. A. (2004) *Aproveitamento de Água Pluvial em Edifícios Residenciais Multifamiliares na cidade de São Carlos*. Dissertação de Mestrado. – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de São Carlos. 131p.
- Soares, S. R. A. ; Bernardes, R. S. ; Cordeiro Netto, O. M. (2003). Planejamento de Sistemas de Drenagem na Saúde Pública e no Meio Ambiente. In: *I Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia*. Manaus.
- Souza, C. M. N. (2001). *Carência ou Precariedade dos Serviços de Drenagem Urbana e Ocorrência de Doenças de Importância para a Saúde Pública – Contribuição ao Estabelecimento de Modelo Causal*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- Souza, V.C. B. (2002). *Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial*. Tese de Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 127p.

- Souza, V. C. B.; Nascimento, N. O. e Baptista, M. B. (1997) Sistema “Hidrourb” para o pré-dimensionamento de soluções compensatórias em drenagem Urbana. Parte II: O programa Hidrourb. *Anais Eletrônicos do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória, ES.
- Von Sperling, E. (2003). “Qualidade da água em bacias de retenção urbanas: Uma nova demanda para a engenharia sanitária”. *Anais Eletrônicos do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Joinville, SC.
- Tucci, C. E. M. (1994). “Enchentes Urbanas no Brasil”. *RBE – Revista Brasileira de Engenharia*. Caderno de Recursos Hídricos. ABRH. **12** (1). Porto Alegre.117-137.
- Tucci, C. E. M. (2002). “Gerenciamento da Drenagem Urbana”. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. **7**(1). Porto Alegre, 117-137.
- Tucci, C. E. M. e Genz, F. (1995) “Controle do Impacto da Urbanização” In: Drenagem Urbana. (Org). Tucci, C. E.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH – Editora da Universidade. UFRGS. 277-347.
- Urban Drainage and Flood Control District (1999). “Stormwater Quality Management.” Drainage Criteria Manual (V. 3).
- Urbonas, B. e Stahre, P. (1993) “Stormwater: Best management, practices and detention for water quality drainage, and CSO management”. Prentice Hall. Englewood Cliffs, Estado Unidos. 449 p.
- Zuffo, A. C., Reis, L. F. R., Santos, R.F. e Chaudhry, F. H., “Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos”. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. **7**(1), 81-102.

APÊNDICES

APÊNDICE A - DADOS DE CONSUMO DE ÁGUA

Tabela A.1 – Consumo de água por habitante nas regiões brasileiras (SABESP, 2005).

Região Norte	
Empresa	Consumo em l/hab/dia
CAER/RR	138,22
CAERD/RO	110,74
CAESA/AP	163,03
COSAMA/AM	51,13
COSANPA/PA	99,98
DEAS/AC	101,08
Região Nordeste	
AGESPISA/PI	74,45
CAEMA/MA	114,62
CAERN/RN	118,10
CAGECE/CE	119,41
CAGEPA/PB	108,51
CASAL/AL	113,81
COMPESA/PE	79,73
DESO/SE	109,44
EMBASA/BA	115,30
Região Sudeste	
CEDAE/RJ	219,21
CESAN/ES	194,03
COPASA/MG	141,61
SABESP/SP	160,84
Região Sul	
CASAN/SC	127,59
SANEPAR/PR	125,17
CORSAN/RS	129,73
Região Centro-Oeste	
CAESB/DF	193,29
SANEAGO/GO	120,79
SANEMAT/MT	163,29
SANESUL/MS	112,58

Tabela A.2 – Estimativa de consumo para uma pessoa com mudanças de hábitos de consumo (SABESP, 2005)

Atividade	Consumo (l)
Lavar roupa	16,7
Escovar os dentes	1,0
Tomar banho com chuveiro elétrico	30,0
Lavar as mãos	1,0
Lavar louça	40,0
Acionamento da descarga	30,0
Total	118,7

APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DOS LIMITES MÁXIMO E MÍNIMO DOS INDICADORES.

Os valores dos limites dos indicadores foram encontrados atribuindo-se valores possíveis as variáveis que compunham cada indicador, conforme demonstrado por meio de exemplos pelas tabelas seguintes:

Tabela B.1 – Limites do indicador de alterações no meio físico

Indicador	Variável 1 (A_{imp1})	Variável 2 (A_{imp2})	Resultado (I_f)
$I_f = \frac{A_{imp.1} - A_{imp.2}}{A_{imp.1}}$	0,01	0,001	0,9
	0,01	0	1
	0,01	0,1	-9
	0,01	0,2	-19
	0,01	0,3	-29
	0,01	1	-99

Considerando uma porcentagem de área impermeável fixa em determinado local observa-se que o aumento dessa porcentagem proporciona uma redução do valor do indicador. Quando esse aumento é muito grande o valor do indicador tende a $-\infty$. Quando há redução dessa porcentagem o valor do indicador aumenta tendo seu limite máximo igual a **1**, quando há redução a zero da porcentagem de áreas impermeáveis.

Tabela B.2 – Limites do indicador de Aumento/Redução do tempo ao pico

Indicador	Variável 1 (T_{p1})	Variável 2 (T_{p2})	Resultado (I_{H1})
$I_{H1} = \frac{T_{p2} - T_{p1}}{T_{p1}}$	5	0	-1
	5	1	-0,8
	5	5	0
	5	10	1
	5	100	19

Esse indicador apresenta apenas um de seus limites definidos, ou seja, seu limite mínimo (**-1**), considerando uma situação em que haja total redução do tempo ao pico, representando a pior situação. A medida que aumenta o tempo ao pico o valor do indicador também aumenta, determinando-se como limite máximo um valor infinito (∞)

Tabela B.3 – Limites do indicador de Redução/Aumento da vazão pico.

Indicador	Variável 1 (Q_{p1})	Variável 2 (Q_{p2})	Resultado (I_{H2})
$I_{H2} = \frac{Q_{p1} - Q_{p2}}{Q_{p1}}$	50	30	0,4
	50	5	0,9
	50	0	1
	50	150	-2
	50	200	-3

Esse indicador apresenta apenas um de seus limites definidos, ou seja, seu limite máximo (**1**), considerando uma situação em que haja total redução da vazão de pico, representando a melhor situação. Quando há aumento da vazão de pico o valor desse indicador decresce e tende a apresentar valores negativos muito pequenos, determinando-se como limite mínimo ($-\infty$).

Tabela B.4 – Limites do indicador de Risco.

Indicador	Variável 1 (T_R)	Variável 2 (T_{RD})	Resultado (I_R)
$I_R = \frac{T_R}{T_{RD}}$	1	100	0,01
	5	100	0,05
	10	100	0,1
	80	100	0,8
	100	100	1

O indicador de risco da obra apresenta valores sempre positivos, tendo seu limite máximo igual **1** situação em que o valor do tempo retorno adotado é igual ao tempo de retorno recomendado, representado a melhor situação. Seu limite mínimo foi considerado igual a zero (**0**), considerando uma situação em que seja adotado um valor de tempo de retorno muito menor do que o recomendado (próximo a zero), sendo portanto a pior situação.

Tabela B.5.a - Limites do índice de Custo.

Indicador	Variável 1 (C_k)	Variável 2 ($\sum C_k/n_T$) (Custo médio)	Resultado (I_{CK})
$I_{CK} = \frac{\sum_{k=1}^{n_t} C_k}{C_k}$	500.000,00	191.671,67	0,38
	75.000,00	191.671,67	2,56
	15,00	191.671,67	12.778,10
	200.000,00	71.667,67	0,36
	15.000,00	71.667,67	4,78
	3,00	71.667,67	23.889,22

Tabela B.5.b - Limites do índice de Custo.

$I_{CK} = \frac{\sum_{k=1}^{n_t} C_k}{C_k}$	1,00	27,00	27,00
	30,00	27,00	0,9
	50,00	27,00	0,54
	10,00	370,00	37,00
	100,00	370,00	3,70
	1.000,00	370,00	0,37

Tabela B.6 – Exemplos de valores de custos de alternativas.

Alternativa	Custo			
	Alternativa I	500.000,00	200.000,00	1,00	10,00
Alternativa II	75.000,00	15.000,00	30,00	100,00
Alternativa III	15,00	3,00	50,00	1.000,00
Custo médio	191.671,67	71.667,67	27,00	370,00

Os valores limites do índice de custo, conforme Moura (2004) são 0 e ∞ , sendo considerada a melhor situação aquela cujo custo seja o menor dentre as alternativas, apresentando, portanto um valor de índice de custo bastante alto, e a pior situação a que apresenta custo muito alto em relação às demais e conseqüentemente um valor de índice de custo próximo a zero.

Tabela B.7 – Limites do indicador de impactos no meio ambiente

Indicador	Variável 1 (A_{verde1})	Variável 2 (A_{verde2})	Resultado (I_A)
$I_A = \frac{A_{verde2} - A_{verde1}}{A_{verde1}}$	100	500	4
	100	100	0
	100	50	-0,5
	100	5	-0,95
	100	0	-1

O indicador de impactos no meio ambiente apresenta apenas um de seus limites definidos que é o seu limite mínimo (**-1**), considerando-se a pior situação, ou seja, situação em que a extensão de áreas verdes é reduzida a zero. O valor do indicador aumenta com o aumento de áreas verdes e seu limite máximo tende ao infinito (∞).

Para a construção e verificação dos limites máximo e mínimo do indicador de impacto na qualidade das águas, ou indicador de qualidade da água (IQA) foram construídas tabelas com dados do trabalho de UDFCD (1999), atribuindo-se valores de escores aos parâmetros de acordo com a porcentagem de remoção, como demonstrado a seguir.

Tabela B.8 – Porcentagem de redução média dos poluentes do escoamento superficial
(Adaptada de Urban Drainage and Flood Control District, 1999)

Tipo de BMP	TSS	TP	TN	TZ	TPb	DBO	Bactéria
Bacia de detenção gramada	30	15	5	5	NA	NA	NA
Vala gramada	40	20	15	20	NA	NA	NA
Pavimento poroso de bloco modular	87,5	65	80	98	80	80	NA
Pavimento poroso com detenção	52	48,5	-22,5	54	70	70	NA
Bacia de detenção estendida	60	15	15	45	82,5	NA	70
Bacia em alagadiços	67	43	21	26,5	60,5	18	NA
Bacia de detenção	80,5	39,5	40	35,5	52	34,5	NA
Plano de infiltração de areia de detenção	52	48,5	-22,5	54	70	70	NA
Canal em alagadiços	40	20	15	20	NA	NA	NA

Tabela B.9 – Valores atribuídos aos parâmetros de qualidade da água de acordo com a porcentagem de redução.

Parâmetros	Limites		Escores					Intervalos (Δ)
	Min	Max	2	4	6	8	10	
TSS	30	87,5	30 a 41,5	41,6 a 53	53,1 a 64,5	64,6 a 76	76,1 a 87,5	11,5
TP	15	65	15 a 25	26 a 35	36 a 45	46 a 55	56 a 65	10
TN	-22,5	80	-22,5 a -2	-1,9 a 18,5	18,6 a 39	39,1 a 59,5	59,6 a 80	20,5
TZ	5	98	5 a 23,6	23,7 a 42,2	42,3 a 60,8	60,9 a 79,4	79,5 a 98	18,6
TPb	52	82,5	52 a 58,1	59,8 a 64,2	64,3 a 70,3	70,4 a 76,4	76,5 a 82,5	6,1
DBO	18	80	18 a 30,4	30,5 a 42,8	42,9 a 55,2	55,3 a 67,6	67,7 a 80	12,4

Tabela B.10 – Exemplos de cálculo do IQA com as estruturas estudadas por UDFCD (1999) e casos hipotéticos para verificação dos limites do IQA.

Exemplos	TSS	TP	TN	TZ	TPb	DBO	IQA
Bacia de detenção	80,5	39,5	40	35,5	52	34,5	
Escores	10	6	8	4	2	4	
PESOS	0,25	0,25	0,2	0,2	0,05	0,05	0,67
Bacia de detenção estendida	60	15	15	45	82,5	na	
Escores	6	2	4	6	10	0	
PESOS	0,25	0,25	0,2	0,2	0,05	0,05	0,45
Pavimento poroso com detenção	52	48,5	-22,5	54	70	70	
Escores	4	8	2	6	6	10	
PESOS	0,25	0,25	0,2	0,2	0,05	0,05	0,54
Hipótese de menor redução	-	-	-	-	-	-	
Escores	0	0	0	0	0	0	
PESOS	0,25	0,25	0,2	0,2	0,05	0,05	0
Hipótese de maior redução	-	-	-	-	-	-	
Escores	10	10	10	10	10	10	
PESOS	0,25	0,25	0,2	0,2	0,05	0,05	1

Da observação dessa tabela X.10 verifica-se que o limite mínimo é zero (**0**) e o máximo é (**1**) considerando-se respectivamente a pior e a melhor situação.

Tabela B.11 – Limites do indicador de Redução/Aumento das áreas de recreação e lazer

Indicador	Variável 1 (A_{re1})	Variável 2 (A_{re2})	Resultado (I_{SO1})
$I_{SO1} = \frac{A_{re2} - A_{re1}}{A_{re1}}$	50	0	-1
	50	40	-0,2
	50	50	0
	50	100	1
	50	500	9

O indicador de Redução/Aumento das áreas de recreação e lazer, da mesma forma que o indicador de impactos no meio ambiente apresenta apenas um de seus limites definidos que é o seu limite mínimo (**-1**), considerando-se a pior situação, ou seja, a redução dessas áreas a zero. O valor do indicador aumenta com o aumento das áreas de recreação e lazer, e seu limite máximo tende ao infinito (∞).

Tabela B.12 – Limites do indicador de Redução/Aumento do número de doentes

Indicador	Variável 1 (D_1)	Variável 2 (D_2)	Resultado (I_{SO2})
$I_{SO2} = \frac{D_1 - D_2}{D_1}$	50	0	1
	50	20	0,6
	50	40	0,2
	50	60	-0,2
	50	150	-2

O indicador social de redução/aumento do número de doentes apresenta apenas um de seus limites definido que é o seu limite máximo (**1**), situação em que ocorre a redução total do número de doentes. Os valores desse indicador diminuem com o aumento do número de doentes, e seu limite mínimo tende ao infinito negativo ($-\infty$).

Tabela B.13 – Limites do indicador de Possibilidade de aproveitamento das águas pluviais

Indicador	Variável 1 (V_{arm})	Variável 2 ($V_{dem.}$)	Resultado (I_{SO3})
$I_{SO3} = \frac{V_{arm}}{V_{dem}}$	500	100	5
	400	100	4
	100	100	1
	50	100	0,5
	0	100	0

O indicador de possibilidade de aproveitamento das águas pluviais apresenta apenas seu valor mínimo definido (**0**), situação em há um volume armazenado muito pequeno ou nulo.

O valor desse indicador aumenta com o aumento do volume armazenado pelo sistema, e seu limite máximo tende ao infinito (∞).

Em resumo, os limites dos indicadores propostos constam da tabela B.14 apresentada a seguir.

Tabela B.14 – Indicadores propostos, fórmulas e limites.

Indicador	Fórmula	Limites	
		Max	Min
Alterações no meio físico	$I_f = \frac{A_{imp.1} - A_{imp.2}}{A_{imp.1}}$	$-\infty$	1
Aumento/redução tempo ao pico	$I_{H1} = \frac{T_{p2} - T_{p1}}{T_{p1}}$	-1	∞
Redução/aumento vazão de pico	$I_{H2} = \frac{Q_{p1} - Q_{p2}}{Q_{p1}}$	$-\infty$	1
Indicador de risco	$I_R = \frac{T_R}{T_{RD}}$	0	1
Índice de custo	$I_{CK} = \frac{\sum_{k=1}^{n_i} C_k}{C_k}$	0	∞
Impactos no meio ambiente	$I_A = \frac{A_{verde2} - A_{verde1}}{A_{verde1}}$	-1	∞
Impacto na qualidade da água	$\frac{0,25 \times TSS + 0,25 \times TP + 0,2 \times TN + 0,2 \times TZ + 0,05 \times TPb + 0,05 \times DBO}{10}$	0	1
Redução/aumento de áreas de recreação e lazer	$I_{SO1} = \frac{A_{re2} - A_{re1}}{A_{re1}}$	-1	∞
Redução/aumento do número de doentes	$I_{SO2} = \frac{D_1 - D_2}{D_1}$	$-\infty$	1
Possibilidade de aproveitamento das águas pluviais	$I_{SO3} = \frac{V_{arm}}{V_{dem}}$	0	∞

APÊNDICE C – DADOS DA ÁREA DE ESTUDO

Tabela C.1 - Área total, área permeável, área impermeável, área verde e área de lazer da região de estudo.

Locais	Áreas (m ²)	Área total
Área total de estudo	172.524,56	
Área total dos lotes	107.548,63	
Área impermeável dos lotes	82.247,98	
Área permeável nos lotes	25.300,65	
Vias pavimentadas	54.170,51	
Área pública não pavimentada = área verde	8.555,420	
Área da praça	2.250,00	
Área da rótula	10.805,420	10.751,778
Área impermeável total	82.247,98+54.570,51 =	136.418,490
Área permeável na região de estudo	172.524,56 -136.418,490 =	36.106,07
Área de lazer = área verde + área permeável nos lotes (= área permeável)	10.805,420 + 25300,65 =	36.106,07

Para a realização dos cálculos foram feitas as seguintes considerações:

- As áreas verdes foram consideradas as áreas da praça e da rótula (encontro das avenidas), porque usualmente esses locais são arborizados ou cobertos de área verde.
- As áreas não construídas dos lotes, ou seja, as partes permeáveis, foram consideradas sem cobertura verde.
- A área de lazer foi considerada toda a área verde mais a área permeável dos lotes, ou seja, toda a área permeável da região de estudo.

A área da bacia de retenção na praça é de 1950 m² e da bacia na rótula é de 800 m².

A área dos microrreservatórios foi estipulada de acordo com o tipo de lote, que era classificado de acordo com suas dimensões, conforme Milograna (2001).

Os microrreservatórios implantados nos lotes somam uma área total de 2.493,62 m², conforme tabela demonstrativa (Tabela C.3), e as áreas permeáveis remanescentes nos lotes das respectivas quadras somam um total de 23.524,53 m² após a implantação dos microrreservatórios.

Como existiam lotes com 100% da área impermeável a implantação dos microrreservatórios nesses casos não contribuiu para o aumento de área impermeável nem para o aumento de área permeável. Foram verificados os lotes dentro das quadras que ainda mantinham áreas permeáveis e calculado a valor da área permeável resultante após a implantação do microrreservatório.

As áreas de lazer foram consideradas também as áreas permeáveis dos lotes mais a área da rótula (encontro da avenida T63 e 85) e a área da praça T-25, sendo, portanto igual a área permeável total da região de estudo. Essa situação foi assim considerada, pois, muito embora nem todas as áreas se prestem a lazer, estão disponíveis para circulação e eventual lazer, especialmente as áreas permeáveis dos lotes e a área da praça.

A seguir são apresentadas tabelas com dados ilustrativos da região de estudo e dados das variáveis de áreas impermeáveis, áreas verdes e áreas de recreação e lazer para cada alternativa.

Tabela C. 2 – Áreas das quadras, área impermeável e total de área permeável por quadra.

Quadra	Área da quadra (m²)	Área impermeável (m²)	Área permeável (m²)
128	3523,26	2748,52	774,74
S8	5742,38	4946,04	796,34
S4	10602,05	6566,64	4035,41
140	12878,78	10846,95	2031,83
141	6415,35	2926,26	3489,09
126-214	5265,86	4240,14	1025,72
127	3119,31	2790,02	329,29
146	12920,79	12197,51	723,28
147	16531,79	9990,38	6541,41
S14	5871,14	5151,93	719,21
S13	10975,04	7276,47	3698,57
139	13702,88	12567,12	1135,76
TOTAL	107.548,63	82.247,98	25.300,65

Tabela C.3 – Áreas das quadras, área permeável das quadras, área dos reservatórios na quadra e área permeável das quadras após a implantação dos reservatórios.

quadra	Número de lotes	Área total (m²)	Área permeável	Área dos microrreservatórios	Área permeável resultante
128	5	3523,26	774,74	84,1	755,94
S8	14	5742,38	796,34	146,12	763,12
S4	27	10602,05	4035,41	265,9	3821,01
140	18	12878,78	2031,83	301,7	1879,33
141	9	6415,35	3489,09	153,1	3369,29
126-214	9	5265,86	1025,72	127,4	983,42
127	6	3119,31	329,29	77,6	317,29
146	22	12920,79	723,28	318,85	668,08
147	18	16531,79	6541,41	265,8	5732,16
S14	10	5871,14	719,21	145,5	660,21
S13	27	10975,04	3698,57	272	3497,07
139	26	13702,88	1135,76	335,55	1077,61
TOTAL	191	107548,63	25300,65	2493,62	23524,53
Área impermeável resultante			107.548,63 - 23.524,53 =		84.024,10
Vias pavimentadas					= 54.170,51
Total de área impermeável			84.024,10 + 54.170,51 =		138.194,61
Total de área permeável			172.524,56 - 138.194,61 =		34.329,950

Assim, as variáveis áreas impermeáveis, áreas verdes e áreas de recreação e lazer para as três alternativas foram calculadas da seguinte forma:

Alternativa I

O sistema clássico foi construído sob as ruas pavimentadas, não colaborando para o aumento de áreas impermeáveis, sendo a área impermeável anterior igual a posterior a implantação do sistema.

As áreas verdes foram consideradas as áreas da praça e da rótula encontro das avenidas, e após a implantação do sistema clássico também não houve qualquer modificação nessas áreas.

Quanto às áreas de recreação e lazer, essas pela carência de dados foram consideradas as áreas permeáveis dos lotes, além da área da rótula e da praça, ou seja, a área permeável

total na região de estudo, não havendo da mesma forma, qualquer modificação nessas áreas.

Tabela C.4 - Área impermeável, área verde e área de recreação e lazer para a alternativa I.

Variável	Área impermeável	Área verde	Área de recreação e lazer
1	136.418,490	10.805,420	36.106,07
2	136.418,490	10.805,420	36.106,07

Alternativa II

O sistema intermediário, com controle centralizado colaborou para o aumento de áreas impermeáveis. Assim, as áreas impermeáveis foram somadas as áreas dos reservatórios implantados na praça e na rótula.

Com relação às áreas verdes essas foram consideradas as áreas da praça e da rótula, e como a implantação dos reservatórios ocorreu nessas áreas houve supressão de áreas verde.

Quanto às áreas de recreação e lazer, essas foram consideradas o total de áreas permeáveis da região de estudo, ou seja, as áreas verdes e as áreas permeáveis dos lotes. Sabendo-se que os reservatórios foram construídos na praça T-25 e na rótula antes mencionada, e considerando-se que ambos ocuparam áreas de lazer, não houve qualquer alteração na área de lazer resultante da implantação desse sistema já que houve supressão e acréscimo simultaneamente das áreas dos reservatórios.

Verifica-se por fim uma redução de área verde, mas não de área de recreação e lazer, conforme apresentado na Tabela C.5 a seguir:

Tabela C.5 – Área impermeável, área verde e área de recreação e lazer para a alternativa II.

Variável	Área impermeável	Área verde	Área de recreação e lazer
1	136418,49	10.805,420	36.106,07
2	139168,49	8.055,420	36.106,07

Alternativa III

O sistema intermediário com controle distribuído colaborou para o aumento de áreas impermeáveis nos lotes que mantinham alguma porcentagem de área permeável. Sendo assim, as áreas dos microrreservatórios foram deduzidas das áreas permeáveis remanescentes nos lotes.

Com relação às áreas verdes, como essas áreas foram consideradas as áreas da praça e da rótula, para a implantação dos microrreservatórios nos lotes não houve supressão de áreas verdes.

Quanto às áreas de recreação e lazer, essas foram consideradas as áreas permeáveis dos lotes, além da área da rotula e da praça. Assim as áreas de recreação e lazer para essa alternativa resultaram na soma das áreas da praça e das áreas permeáveis nos lotes resultantes, após a implantação dos microrreservatórios, conforme a Tabela C.6.

Tabela C.6 – Área impermeável, área verde e área de recreação e lazer para a alternativa III.

Variável	Área impermeável	Área verde	Área de recreação e lazer
1	136.418,49	10.805,420	36.106,07
2	138.194,61	10.805,420	34.329,95

APÊNDICE D - DADOS DE PRECIPITAÇÃO DA CIDADE DE GOIÂNIA

Tabela D.1 – Precipitação (mm) da cidade de Goiânia – 1999 a 2004 (SIMEGO, 2006)

Meses/Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Médias
Janeiro	153	371,8	159,3	229,9	449,3	349	285,38
Fevereiro	155	251,9	210,4	346,6	290,4	331,8	264,35
Março	122,8	251,6	186,2	248,7	153,8	345,2	218,05
Abril	33	28,2	298,8	26,3	97,7	264,9	124,82
Mai	75	4,3	92,2	5,8	0	54,4	38,62
Junho	6	0	0,3	0	0	0	1,05
Julho	6	1,1	0	0	0	4,5	1,93
Agosto	0	36,1	19,4	1,3	4,4	0	10,20
Setembro	78	120,3	185,2	43,9	30,3	2,6	76,72
Outubro	168,8	91,8	235,7	57,2	111,1	165,8	138,40
Novembro	202,7	403,8	303,7	204,7	158,2	117,9	231,83
Dezembro	243,1	380,1	227,2	251,6	178,4	287,4	261,30
TOTAL	1243,4	1941	1918,4	1416	1473,6	1923,5	1652,65
Média anual	103,62	161,75	159,87	118,00	122,80	160,29	137,72

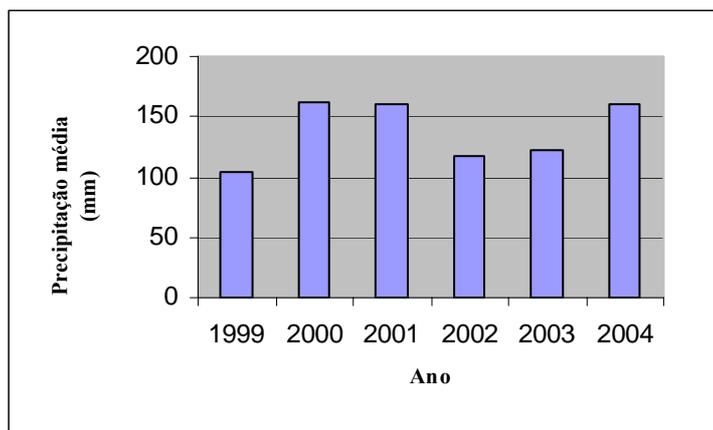


Figura D.1 – Gráfico de distribuição média da chuva nos anos

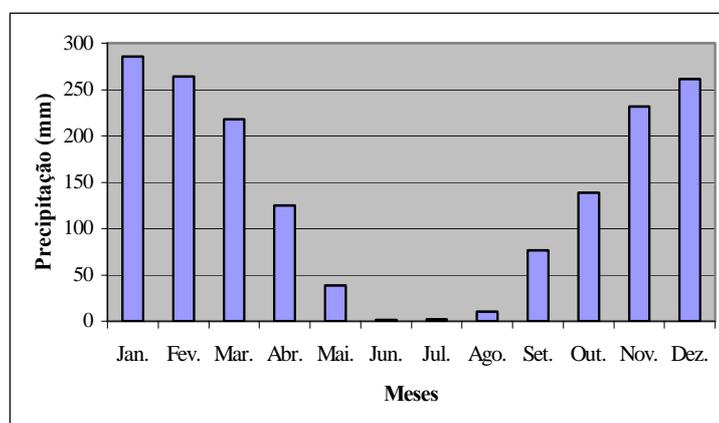


Figura D.2 – Gráfico da média mensal das chuvas nos anos de 1999 a 2004.

APÊNDICE E - MEMORIAL DE CÁLCULO DOS VOLUMES DEMANDADO E ARMAZENADO NA ÁREA DE ESTUDO CONFORME A ALTERNATIVA

Volume demandado

Área = 17ha

Densidade = 430 habitantes/ha

População = $17 \times 430 = 7310$ habitantes.

O consumo de água para atividades não potáveis segundo Tomaz (1999) *apud* Barcelos & Felizzato (2005) é de $2,81 \text{ m}^3/\text{habitante}/\text{mês}$.

Então a demanda local é dada por:

$$V_{\text{dem.}} = 2,81(\text{m}^3/\text{hab}/\text{mês}) \times 7310 \text{ hab} = \mathbf{20.541,1(\text{m}^3/\text{mês})}.$$

Alternativa II

Área de coleta: 2750 m^2

$C = 0,8$ (bacia em concreto);

$i = 137,72 \text{ mm}/\text{mês}$ (média mensal nos anos de 1999 a 2004).

$$V_{\text{arm.}} = 2750 \times 0,8 \times 0,13772$$

$$V_{\text{arm.}} = \mathbf{302,98 \text{ m}^3/\text{mês}}$$

Alternativa III

Área de coleta: $2493,62 \text{ m}^2$

$C = 0,8$ (bacia em concreto);

$i = 137,72 \text{ mm}/\text{mês}$

$$V_{\text{arm.}} = 2493,62 \times 0,8 \times 0,13772$$

$$V_{\text{arm.}} = \mathbf{274,74 \text{ m}^3/\text{mês}}$$

Tabela E.1 – Volumes armazenado e demandado nas alternativas I e II e respectivos I_{SO_3}

Alternativas	Volume armazenado ($\text{m}^3/\text{mês}$)	Volume demandado ($\text{m}^3/\text{mês}$)	Indicador (I_{SO_3})
Alternativa II	302,98	20.541,1	0,015
Alternativa III	274,74	20.541,1	0,013

**APÊNDICE F - TABELAS DE RESULTADOS DOS INDICADORES,
VALORES DE Lp E RESPECTIVAS ANÁLISES DE SENSIBILIDADE**

Tabela F.1 – Resultados de indicadores e valor de Lp com pesos iguais a 3

Alternativa I								
Indicador	Melhor (f*)	Pior (f**)	Pesos	Valor do indicador (f)	(1) (f* - f)	(2) (f* - f**)	(1)/(2)	Peso*(1/2)
I _f	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{H1}	10	0	3	0	10	10	1	3
I _{H2}	10	0	3	0	10	10	1	3
I _R	10	0	3	10	0	10	0	0
I _C	10	0	3	0	10	10	1	3
I _A	10	0	3	10	0	10	0	0
IQA	10	0	3	0	10	10	1	3
I _{SO1}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{SO3}	10	0	3	0	10	10	1	3
Lp								15
Alternativa II								
I _f	10	0	3	0	10	10	1	3
I _{H1}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{H2}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _R	10	0	3	10	0	10	0	0
I _C	10	0	3	4,13	5,87	10	0,587	1,761
I _A	10	0	3	0	10	10	1	3
IQA	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{SO1}	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{SO3}	10	0	3	10	0	10	0	0
Lp								7,761
Alternativa III								
I _f	10	0	3	5	5	10	0,5	1,5
I _{H1}	10	0	3	5,07	4,93	10	0,493	1,479
I _{H2}	10	0	3	9,81	0,19	10	0,019	0,057
I _R	10	0	3	10	0	10	0	0
I _C	10	0	3	10	0	10	0	0
I _A	10	0	3	10	0	10	0	0
IQA	10	0	3	10	0	10	0	0
I _{SO1}	10	0	3	0	10	10	1	3
I _{SO3}	10	0	3	8,67	1,33	10	0,133	0,399
Lp								6,435

Tabela F.2 – Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério físico

Aumento de 1 ponto			Aumento de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	6,935	Alternativa III	7,435
2°	Alternativa II	8,761	Alternativa II	9,761
3°	Alternativa I	15	Alternativa I	15

Tabela F.3 – Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério hidrológico

Aumento de 1 ponto			Aumento de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	6,947	Alternativa III	7,459
2°	Alternativa II	7,761	Alternativa II	7,761
3°	Alternativa I	17	Alternativa I	19

Tabela F.4 – Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério hidráulico

Aumento de 1 ponto			Aumento de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	6,435	Alternativa III	6,435
2°	Alternativa II	7,761	Alternativa II	7,761
3°	Alternativa I	15	Alternativa I	15

Tabela F.5 – Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério econômico

Aumento de 1 ponto			Aumento de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	6,435	Alternativa III	6,435
2°	Alternativa II	8,438	Alternativa II	8,935
3°	Alternativa I	16	Alternativa I	17

Tabela F.6 – Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério ambiental

Aumento de 1 ponto			Aumento de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	6,435	Alternativa III	6,435
2°	Alternativa II	8,761	Alternativa II	9,761
3°	Alternativa I	16	Alternativa I	17

Tabela F.7 – Ordenação das alternativas com aumento no peso em 1 e 2 pontos no critério social

Aumento de 1 ponto			Aumento de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	7,568	Alternativa III	8,701
2°	Alternativa II	7,761	Alternativa II	7,761
3°	Alternativa I	16	Alternativa I	17

Tabela F.8 – Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério físico

Redução de 1 ponto			Redução de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	5,935	Alternativa III	5,435
2°	Alternativa II	6,761	Alternativa II	5,761
3°	Alternativa I	15	Alternativa I	15

Tabela F.9 – Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério hidrológico

Redução de 1 ponto			Redução de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	5,923	Alternativa III	5,411
2°	Alternativa II	7,761	Alternativa II	7,761
3°	Alternativa I	13	Alternativa I	11

Tabela F.10 – Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério hidráulico

Redução de 1 ponto			Redução de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	6,435	Alternativa III	6,435
2°	Alternativa II	7,761	Alternativa II	7,761
3°	Alternativa I	15	Alternativa I	15

Tabela F.11 – Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério econômico

Redução de 1 ponto			Redução de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	6,435	Alternativa III	6,435
2°	Alternativa II	7,174	Alternativa II	6,587
3°	Alternativa I	14	Alternativa I	13

Tabela F.12 – Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério ambiental

Redução de 1 ponto			Redução de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	6,435	Alternativa II	5,761
2°	Alternativa II	6,761	Alternativa III	6,435
3°	Alternativa I	14	Alternativa I	13

Tabela F.13 – Ordenação das alternativas com redução no peso em 1 e 2 pontos no critério social

Redução de 1 ponto			Redução de 2 pontos	
Ordem	Alternativa	Valor de Lp	Alternativa	Valor de Lp
1°	Alternativa III	5,302	Alternativa III	4,169
2°	Alternativa II	7,761	Alternativa II	7,761
3°	Alternativa I	14	Alternativa I	13