

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA A**  
**AValiação DOS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO**  
**NOS CORPOS DE ÁGUA**

**Leonardo Mitre Alvim de Castro**

**Belo Horizonte**

**2007**

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA A  
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NOS  
CORPOS DE ÁGUA**

**Leonardo Mitre Alvim de Castro**

**Leonardo Mitre Alvim de Castro**

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA A  
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NOS  
CORPOS DE ÁGUA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Gestão de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Márcio B. Baptista

Co-Orientadora: Profa. Dra. Sylvie Barraud – INSA-  
Lyon

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2007

C355p Castro, Leonardo Mitre Alvim de  
Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos de água [manuscrito] / Leonardo Mitre Alvim de Castro .— 2007.  
xv, 297 f. , enc. : il.

Orientador: Márcio Benedito Baptista  
Co-orientadora: Sylvie Barraud

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 279 - 290

1. Drenagem - Teses. 2. Hidrologia urbana – Teses. 3. Engenharia sanitária – Teses. I. Baptista, Marcio Benedito. II. Barraud, Sylvie. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 556.18(043)

*Ficha elaborada pelo Processamento Técnico da Biblioteca da EE/UFMG*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre ao meu lado.

À Ju, pela compreensão, dedicação e incentivo durante todo período e, ainda, por ter deixado um tempo de sua vida profissional de sucesso para que pudéssemos ter nossa vida de casados durante os seis meses de estudos em Lyon.

Aos meus pais e irmã, sempre dedicados e empenhados, que incentivaram todos os meus estudos, mesmo sabendo que meu sucesso poderia levar à distância e, ainda, por terem confiado durante todo tempo na conclusão deste trabalho.

Ao professor Márcio Baptista, mais que um grande orientador, sempre disponível com sua experiência e visão abrangente, dando tranquilidade e confiança e levando à orientação segura e às diretrizes para o sucesso deste trabalho.

À professora Sylvie Barraud, pela ótima acolhida, pela disponibilidade e pelo apoio, orientação e experiência transmitida durante todo o tempo, especialmente no período de estudos no INSA-Lyon.

Do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG agradeço aos professores: Marcelo Libânio, Mauro Naghetini, Luis Rafael Palmier, Mário Cicareli, Carlos Martinez, Nilo Nascimento, Márcia Lara e Bruno Versiani, pela dedicação ao curso e pelos conhecimentos transmitidos; agradeço, ainda, aos secretários: Bob, Jussara, Iara e Márcio Lourenço, por todos os favores e gentilezas dispensados ao longo de tanto tempo.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa sanduíche concedida para o período de estudos no INSA-Lyon.

Aos amigos Flávio e Priscilla, Jaime, João Henrique e Janaína, pela grande força, pelo apoio, pela amizade e por todos os bons momentos que passamos, que fizeram com que o período de estudos em Lyon se tornasse inesquecível.

De meu período de estudos em Lyon, gostaria de agradecer, ainda, aos professores do INSA-Lyon: Bernard Chocat, Pascal Le Gauffre e Jean Luc Bertrand-Krajewski pela acolhida; aos colegas mestrandos e doutorandos do INSA-Lyon: Andrés, Antoine, Damien, Ferhat, Hatem,

Karima, Markus, Mazem, Mikael, Priscilla, Romain e Stephanie pelas boas discussões e reflexões sobre assuntos diversos variando desde questões relacionadas aos recursos hídricos até a lastimável derrota do Brasil para a França na Copa da Alemanha; aos funcionários: Renée, Valérie, Christian Amboise, Sylvie Marchanoff e Dominique, pela acolhida e pelo apoio nas tarefas administrativas; à Madame Anne Clemens (GRAIE/ZABR-Lyon) e ao Monsieur Jean Faure-Brac (Agence RMC-Lyon) pelos ensinamentos e esclarecimentos sobre o modelo francês de gestão de recursos hídricos.

Aos pesquisadores e representantes de órgãos gestores de recursos hídricos que participaram da consulta para análise crítica dos indicadores propostos, pela disponibilidade e por sua valiosa contribuição ao trabalho.

Ao engenheiro Renato Portela, pelas informações transmitidas do projeto de desenvolvimento urbano do Condomínio Vale dos Cristais.

Ao colega Wilson dos Santos Fernandes, da UFMG e às doutorandas Priscilla Macedo Moura, do INSA-Lyon, e Jussanã Milograna, da UnB, pela participação no processo de análise crítica da metodologia proposta. A esta última agradeço, ainda, pelas informações transmitidas sobre o estudo de caso de Goiânia.

À Diretoria da ANA, em especial ao diretor Oscar de Moraes Cordeiro Netto, e ao Superintendente de Outorga e Fiscalização Francisco Lopes Viana, pela minha licença para estudos em Lyon e pelo constante incentivo ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas da ANA, pelo constante apoio, incentivo e por compreenderem minhas ausências.

Aos amigos e parentes, pela confiança e compreensão da importância dessa etapa em minha vida.

## RESUMO

O desenvolvimento urbano, com a implantação das estruturas necessárias à captação de águas para abastecimento público, drenagem urbana e coleta e lançamento de efluentes, pode causar modificações sensíveis no ciclo hidrológico em sua área de influência. Esses efeitos podem tratar de aspectos concernentes à quantidade de água, em função das vazões captadas ou da modificação das condições de infiltração, à qualidade, quando se referirem aos efluentes gerados pelo meio urbano, ou podem versar ainda sobre o regime dos corpos de água, em função das alterações do desenvolvimento temporal dos hidrogramas acarretadas pelos sistemas de drenagem.

Por outro lado, com o advento da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433/97, as alterações causadas na quantidade, qualidade e regime existente nos corpos de água devem ser sujeitas a autorizações de órgãos públicos gestores de águas. Este é o caso, portanto, do desenvolvimento urbano.

O presente estudo conjuga esses dois aspectos citados, correspondendo à proposição de uma metodologia para a avaliação de alterações provocadas pelo desenvolvimento urbano nos corpos de água em sua área de influência e a verificação da viabilidade de sua aplicação para subsidiar a decisão dos órgãos gestores quanto à concessão da autorização. A metodologia é baseada em indicadores, que devem traduzir os efeitos mais relevantes da urbanização, agregados por meio dos métodos de análise multicritério TOPSIS e Electre TRI.

Para a verificação e consolidação da metodologia proposta foi realizada uma análise crítica baseada em estudos de caso, comparação com os sistemas atualmente aplicados, consulta a especialistas, análises de sensibilidade e robustez, comparação com resultados de outros trabalhos de acadêmicos e outras metodologias para a avaliação de alternativas de projeto.

Por fim, após a consolidação realizada, a metodologia pôde ser considerada adequada para utilização corrente tendo em vista a abrangência e a facilidade de determinação dos indicadores propostos, bem como a aplicabilidade do procedimento multicriterial pelos técnicos de órgãos gestores, apresentando resultados significativos para a análise e decisão quanto à autorização dos empreendimentos a serem implantados.

## ABSTRACT

The urban development, requiring the implementation of water supply, drainage and sanitation systems, can cause important modifications of the hydrologic cycle. These effects are related to the water quantity (water demands, infiltration conditions), water quality and watercourse flow conditions.

On the other hand, with the publication of the National Water Resources Policy Act (Federal Law n°9433/97), the modifications on the watercourse quantity, quality and flow condition are subjected to federal authorizations delivered by the state institution responsible for the water management. As urban development implies such modifications, it is directly affected by this law.

The present research, integrating all these aspects, proposes a methodology to evaluate the sustainability of the urban development implementation, in relation to the alteration of watercourses and verifies the feasibility of such decision support system and its relevance regarding the use by water management state institutions. The methodology is based on indicators of aspects that show major effects of urbanization and on the aggregation of indicators by two multicriteria methods: TOPSIS and Electre TRI.

The methodology validation and consolidation was made by a critical analysis based on case studies, comparison with the systems applied nowadays, experts consultation, sensitivity and robustness analysis and comparison with results from other academic studies and other methodologies to evaluate project alternatives.

After the consolidation, the methodology turned out to be adapted for use by water management state institutions, due to the feasibility of indicator assessment and the applicability of the multicriteria procedure. The results also show that the methodology gives interesting prescriptions to analyze and help to authorize discharges coming from urban development.



## RESUMÉ

Le développement des villes induisant par exemple des prélèvements d'eaux pour l'alimentation et nécessitant l'implantation de systèmes d'assainissement, peut provoquer des modifications importantes du cycle hydrologique en milieu urbain. Ces effets touchent des aspects concernant les quantités d'eau (systèmes de prélèvement ou modifications des conditions d'infiltration de l'eau), sa qualité et le régime des cours d'eau.

Par ailleurs, au Brésil, avec l'avènement de la Politique Nationale des Ressources en Eaux, instituée par la loi fédérale n° 9.433/97, les modifications de quantité, de qualité et de régime des cours d'eaux doivent être soumis à autorisation par les organismes d'état responsables de la gestion de l'eau. C'est donc le cas de tous les infrastructures liées au développement urbain.

La recherche présentée ici conjugue l'ensemble de ces aspects. Elle propose une méthodologie permettant d'une part d'évaluer la durabilité de l'implantation du développement urbain par rapport aux modifications qu'il entraîne vis-à-vis des cours d'eaux, et d'autre part de vérifier sa pertinence comme support opérationnel d'aide à la décision pour les organismes gestionnaires en charge de délivrer les autorisations. La méthodologie est basée sur la proposition d'indicateurs, qui doivent traduire les effets les plus importants de l'urbanisation, et sur leur agrégation au moyen des méthodes d'analyse multicritère TOPSIS et Electre TRI.

Pour valider et consolider la méthodologie, une analyse critique a été faite ; elle est basée sur des études de cas, sur la comparaison avec les systèmes appliqués actuellement, sur la consultation d'experts, sur des analyses de sensibilité et de robustesse, et enfin sur la comparaison avec d'autres études académiques et d'autres méthodologies d'évaluation d'alternatives de projet.

Après validation, la méthodologie peut être considérée acceptable vis-à-vis de son utilisation. Les indicateurs finaux s'avèrent aisés à évaluer et la procédure multicritère facile à appliquer. Les résultats montrent que la méthode est particulièrement intéressante comme support d'aide à la décision pour l'analyse et l'autorisation de rejets de réalisations d'aménagements urbains.

# SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2- OBJETIVOS E DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>3</b>
2.1- OBJETIVOS .....	3
2.2- DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO .....	3
<b>3- IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO E DAS TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA NO CICLO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>7</b>
3.1- A URBANIZAÇÃO E O CICLO HIDROLÓGICO .....	7
3.2- IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NOS VOLUMES E VAZÕES ESCOADOS .....	8
3.2.1- Principais impactos verificados.....	8
3.2.2- Impactos devidos à supressão da cobertura vegetal.....	12
3.2.3- Alguns resultados de estudos realizados.....	14
3.3- IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS ESCOADAS .....	21
3.3.1- Principais fontes de poluição das águas pluviais.....	21
3.3.2- Impactos na qualidade dos corpos de água .....	25
3.3.3- Níveis de impactos e de qualidade das águas do corpo receptor.....	28
3.4- HISTÓRICO DAS TECNOLOGIAS DE DRENAGEM URBANA.....	33
3.5- SISTEMAS CLÁSSICOS E COMPENSATÓRIOS .....	35
3.5.1- Sistemas clássicos .....	35
3.5.2- Sistemas compensatórios ou alternativos.....	36
3.6- CONCLUSÕES .....	56
<b>4- LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>61</b>
4.1- INTRODUÇÃO: LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL .....	61
4.2- DOMINIALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS .....	61
4.3- LEGISLAÇÃO FEDERAL RELACIONADA À OUTORGA .....	63
4.4- LEGISLAÇÃO ESTADUAL .....	67
4.5- LEGISLAÇÃO DE OUTROS PAÍSES .....	70
4.5.1- Legislação argentina.....	70
4.5.2- Legislação chilena .....	73
4.5.3- Legislação mexicana .....	75
4.5.4- Legislação na Comunidade Européia.....	78
4.6- CRITÉRIOS DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DAS ÁGUAS .....	89
4.6.1- Critérios quanto a alterações na quantidade das águas.....	89
4.6.2- Critérios quanto a alterações na qualidade das águas.....	92
4.6.3- Critérios quanto a alterações no regime dos corpos de água.....	93
4.7- CONCLUSÕES .....	94
<b>5- AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO .....</b>	<b>97</b>
5.1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	97
5.2- UTILIZAÇÃO DE INDICADORES .....	97
5.2.1- Introdução.....	97
5.2.2- Indicadores e seus conceitos relacionados .....	99
5.2.3- Características dos indicadores .....	99
5.2.4- Uso dos indicadores .....	101
5.2.5- Alguns estudos propondo indicadores .....	102
5.3- MÉTODOS PARA A AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS.....	106
5.3.1- Introdução.....	106

5.3.2- <i>Análise de critério único</i> .....	108
5.3.3- <i>Análises multicritério</i> .....	110
5.4- ESCOLHA DOS MÉTODOS A SEREM APLICADOS .....	115
5.4.1- <i>TOPSIS</i> .....	117
5.4.2- <i>Electre TRI</i> .....	120
5.5- CONCLUSÕES .....	125
<b>6- PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE ANÁLISE .....</b>	<b>127</b>
6.1- INTRODUÇÃO .....	127
6.2- ASPECTOS TÉCNICOS DE ANÁLISE .....	127
6.2.1- <i>Introdução</i> .....	127
6.2.2- <i>Indicadores para a avaliação das alterações na quantidade das águas</i> .....	129
6.2.3- <i>Indicadores para a avaliação das alterações no regime dos corpos de água</i> ....	136
6.2.4- <i>Indicadores para a avaliação das alterações na qualidade das águas</i> .....	142
6.3- METODOLOGIAS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO .....	154
6.4- DEFINIÇÃO DE CASOS POSSÍVEIS .....	155
6.5- APLICABILIDADE DA METODOLOGIA PROPOSTA EM PROCEDIMENTOS DE OUTORGA .....	159
6.6- CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	165
<b>7- ANÁLISE CRÍTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA.....</b>	<b>167</b>
7.1- INTRODUÇÃO .....	167
7.2- COMPARAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA COM AQUELAS UTILIZADAS ATUALMENTE .....	167
7.3- CONSULTA A ESPECIALISTAS .....	172
7.3.1- <i>Introdução</i> .....	172
7.3.2- <i>Metodologia</i> .....	172
7.3.3- <i>Análises quanto aos pesos atribuídos</i> .....	176
7.3.4- <i>Análise quanto aos comentários dos especialistas</i> .....	182
7.4- ESTUDO DE CASO DO CONDOMÍNIO VALE DOS CRISTAIS .....	190
7.4.1- <i>Introdução</i> .....	190
7.4.2- <i>Cálculo dos indicadores</i> .....	191
7.4.3- <i>Análise multicritério</i> .....	204
7.4.4- <i>Comparação dos resultados obtidos por outros especialistas</i> .....	212
7.5- ESTUDO DE CASO DE UMA ÁREA URBANIZADA EM GOIÂNIA .....	216
7.5.1- <i>Introdução</i> .....	216
7.5.2- <i>Cálculo dos indicadores</i> .....	217
7.5.3- <i>Análise multicritério</i> .....	230
7.5.4- <i>Comparação com os resultados de Castro (2002) e Moura (2004)</i> .....	239
7.6- POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA PARA OUTROS FINS .....	241
7.7- CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	243
<b>8- CONSOLIDAÇÃO DOS INDICADORES E DA METODOLOGIA.....</b>	<b>245</b>
8.1- INTRODUÇÃO .....	245
8.2- ALTERAÇÕES PROPOSTAS NOS INDICADORES .....	245
8.2.1- <i>Indicadores para a avaliação das alterações na quantidade das águas</i> .....	245
8.2.2- <i>Indicadores para a avaliação das alterações de regime existente nos corpos de água</i> .....	249
8.2.3- <i>Indicadores para a avaliação das alterações na qualidade das águas</i> .....	254
8.2.4- <i>Resumo dos indicadores consolidados</i> .....	257
8.3- FLUXOGRAMA PROPOSTO .....	258
8.3.1- <i>Verificação da dominialidade dos corpos de água em que serão previstas interferências</i> .....	259

8.3.2- <i>Determinação dos parâmetros de legislação necessários ao cálculo de cada indicador</i> .....	260
8.3.3- <i>Cálculo dos indicadores para o projeto em análise</i> .....	261
8.3.4- <i>Verificação dos indicadores quanto aos índices de veto</i> .....	262
8.3.5- <i>Atribuição dos pesos para os indicadores</i> .....	263
8.3.6- <i>Realização das análises multicritério</i> .....	263
8.3.7- <i>Realização das análises de sensibilidade e robustez dos resultados</i> .....	266
8.3.8- <i>Decisão do analista</i> .....	267
8.4- <b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA COM OS INDICADORES CONSOLIDADOS</b> .....	267
8.4.1- <i>Estudo de caso do condomínio Vale dos Cristais</i> .....	268
8.4.2- <i>Estudo de caso sobre a área urbanizada de Goiânia</i> .....	269
<b>9- CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS</b> .....	<b>271</b>
9.1- <b>CONCLUSÕES</b> .....	271
9.1.1- <i>Utilização de indicadores para avaliação de projetos</i> .....	271
9.1.2- <i>Aplicação de métodos multicritério</i> .....	273
9.1.3- <i>Análise crítica</i> .....	273
9.1.4- <i>Aplicação como metodologia de outorga</i> .....	274
9.1.5- <i>Aplicação da metodologia proposta para outros fins</i> .....	275
9.2- <b>PERSPECTIVAS</b> .....	275
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>279</b>
<b>APÊNDICE I</b> .....	<b>291</b>
<b>APÊNDICE II</b> .....	<b>293</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAGISA-PB - Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba  
ADASA-DF – Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal  
Agence RMC – *Agence de l’Eau Rhône Méditerranée & Corse*  
AHP – *Analytical Hierarchy Process*  
ANA – Agência Nacional de Águas  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
APWA – *American Public Works Association*  
ARH – Administração de Região Hidrográfica de Portugal  
AVCO – *Economic Systems Corporation*  
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica  
CEFET/GO – Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás  
CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos  
COGERH/CE – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
CONSOL – Consol Engenheiros Consultores  
COPAM/MG – Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais  
COT – Carbono Orgânico Total  
CSD – Comissão de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas  
DAEE/SP - Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo  
DBO<sub>5</sub> – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DMD – Decisão Multicritério Discreta  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
EA – *Environment Agency of England and Wales*  
ELECTRE – *Elimination Et Choix Traduisant Réalité*  
ETE – Estação de Tratamento de Esgotos  
FEPAM/RS – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler  
GRA – *Grey Relational Analysis*  
GRAIE – *Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l’Eau*  
IAURIF – *Institut d’Aménagement et d’Urbanisme de la Région d’Ile de France*  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF – Curva Intensidade – Duração – Frequência de Precipitações  
IEMA/ES – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo  
IGAM/MG – Instituto Estadual de Gestão das Águas – Minas Gerais  
INAG – Instituto Nacional da Água de Portugal  
INSA-Lyon – *Institut National des Sciences Appliquées* de Lyon, França  
IWA – *International Water Association*  
NATURATINS/TO – Instituto Natureza do Tocantins  
NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl  
OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development*  
OFWAT – *Water Services Regulation Authority of England and Wales*  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana  
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos  
PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*  
RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte  
SAGE – *Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux*  
SANEAGO – Saneamento de Goiás S.A.  
SDAGE – *Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux*  
SECTMA/PE – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco  
SEMAR/PI – Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Piauí  
SERHID-RN – Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte  
SMA-SP – Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo  
SMG – *Service de Mathématiques de La Gestion de Paris*  
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento  
SS – Sólidos em Suspensão  
SEMA/RS – Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul  
SEMARH/GO – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás  
SEPLANTEC/SE – Secretaria de Estado do Planejamento de Sergipe  
SRH/BA – Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia  
SRH/CE – Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará  
STU – *Service Technique de l'Urbanisme*  
SUDERHSA/PR – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Paraná  
TOPSIS – *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*  
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos

UnB – Universidade de Brasília

US-EPA – *United States Environmental Protection Agency*

ZABR – *Zone Atelier Bassin du Rhône*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Impactos da urbanização nos corpos de água (adaptada de Chocat, 1997).....	8
Figura 3.2 – Variação do coeficiente de escoamento superficial com a urbanização (Silveira 2000a).....	15
Figura 3.3 – Precipitação média em Paris em função do dia da semana (1 para segunda-feira e 7 para domingo). Detwiller (1970) <i>apud</i> Chocat (1997) .....	19
Figura 3.4 – Aumento da freqüência de tempestades de verão em área urbana em relação à área rural de entorno em função da população da cidade. Changnon (1976) .....	20
Figura 3.5 – Principais efeitos da urbanização nas variáveis hidrológicas (US-EPA, 1999) ..	21
Figura 3.6 – Esquema com as possibilidades de arranjos para os pavimentos com estruturas de reservação (Azzout <i>et al.</i> 1994).....	44
Figura 3.7 – Esquema de funcionamento dos poços de infiltração, com vertimento superficial ou por meio de rede de drenagem (Baptista <i>et al.</i> 2005a).....	48
Figura 3.8 – Esquema de funcionamento de telhado armazenador (Baptista <i>et al.</i> , 2005a) ....	50
Figura 3.9 – Esquema da utilização de trincheiras (Baptista <i>et al.</i> , 2005a) .....	52
Figura 3.10 – Esquema de funcionamento de valas de infiltração e de detenção (Baptista <i>et al.</i> , 2005a).....	54
Figura 5.1 – Distância das alternativas à solução ideal e anti-ideal. Pomerol e Barba-Romero (1993) .....	118
Figura 5.2 – Distância retangular ( $p = 1$ ) das alternativas de projeto à solução ideal (Vetschera, 2005).....	119
Figura 5.3 – Distância euclideana ( $p = 2$ ) das alternativas de projeto à solução ideal (Vetschera, 2005).....	119
Figura 5.4 – Distância de Tchebycheff ( $p = \infty$ ) das alternativas de projeto à solução ideal (Vetschera, 2005).....	120
Figura 5.5 – Classificação da alternativa de referência a para cada um dos indicadores $i$ e categorias E (adaptada de Gomes <i>et al.</i> 2004) .....	122
Figura 6.1 – Indicador $I_{qt1}$ em função do volume de infiltração.....	131
Figura 6.2 – Árvore de decisão proposta para o indicador $I_{qt1}$ .....	132
Figura 6.3 – Valores previstos para o indicador $I_{qt2}$ .....	134
Figura 6.4 – Valores previstos para $I_{qt3}$ em função do $V_{re}$ .....	136
Figura 6.5 – Valores possíveis para o indicador $I_{r1}$ .....	138
Figura 6.6 – Relação entre as vazões de pico para a alternativa de projeto e o indicador $I_{r2}$	140



Figura 6.7 – Resultados possíveis do calculo do indicador $I_{r3}$ .....	141
Figura 6.8 – Valores possíveis do indicador $I_{qL1}$ para diferentes DBO de lançamento.....	144
Figura 6.9 – Valores possíveis para o indicador $I_{qL2}$ conforme a $Q_{dil\_DBO}$ .....	147
Figura 6.10 – Resultados possíveis dos cálculos de $I_{qL3i}$ para cada poluente avaliado .....	150
Figura 6.11 – Resultados possíveis dos cálculos de $I_{qL4i}$ para cada poluente avaliado .....	152
Figura 6.12 – Fluxograma com as possibilidades de resultados para a avaliação global .....	158
Figura 6.13 – Fluxograma proposto para o pedido de outorga para urbanização .....	162
Figura 7.1 – Taxa de Similitude calculada com a ponderação de cada especialista.....	207
Figura 7.2 – Índices de Credibilidade $\sigma(a,b)$ com a ponderação de cada especialista .....	210
Figura 7.3 – Taxa de Similitude calculada com a ponderação de cada especialista.....	233
Figura 7.4 – Índices de credibilidade para o cenário I com a ponderação de cada especialista .....	236
Figura 7.5 – Índices de credibilidade para o cenário II com a ponderação de cada especialista .....	236
Figura 7.6 – Índices de credibilidade para o cenário III com a ponderação de cada especialista .....	237
Figura 8.1 – Valores previstos para o indicador $I_{qt3}$ em função da relação $V_{re}/V_{tot\_dem}$ .....	248
Figura 8.2 – Valores previstos para o indicador $I_{r1}$ em função da vazão de pico a jusante da alternativa de projeto, caso $Q_{inund} > Q_{pico\_nat}$ .....	251
Figura 8.3 – Valores previstos para o indicador $I_{r1}$ em função da vazão de pico a jusante da alternativa de projeto, caso $Q_{inund} \leq Q_{pico\_nat}$ .....	253
Figura 8.4 – Fluxograma proposto para as etapas necessárias à aplicação da metodologia ..	259

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Aumento do escoamento superficial devido à alteração da cobertura vegetal (Sahin e Hall, 1996) .....	13
Tabela 3.2 – Fração de áreas impermeáveis em função da densidade habitacional .....	16
Tabela 3.3 – Área impermeável média por habitante (m <sup>2</sup> ) .....	16
Tabela 3.4 – Acréscimo nas vazões de pico para duas situações de urbanização .....	17
Tabela 3.5 – Razões entre intensidades de precipitação em área urbana (U) e rural (R) .....	17
Tabela 3.6 – Precipitação média (mm) de eventos por estação e por área (urbana ou rural)...	18
Tabela 3.7 – Intervalo de variação de alguns parâmetros de poluição nas águas de chuva.....	25
Tabela 3.8 – Classificação dos níveis de fenômenos de impactos, adaptado de Chocat (1997) .....	29
Tabela 3.9 – Valores médios de concentração de alguns poluentes em águas pluviais para algumas cidades (mg/L) .....	30
Tabela 3.10 – Análise química de algumas das amostras coletadas em avenida de Bolonha..	30
Tabela 3.11 – Variação de massas anuais e específicas. Adaptado de Chebbo <i>et al.</i> (1995) ..	31
Tabela 3.12 – Valores médios de cargas anuais lançadas (kg/ha impermeável) a jusante de bacias com sistemas de coletores unitários ou separadores. Chocat (1997) .....	31
Tabela 3.13 – Concentração de poluentes no escoamento pluvial nos Estados Unidos (US-EPA, 1999) .....	32
Tabela 3.14 – Concentração de poluentes nas águas de escoamento pluvial na Suíça (Rossi, 1998) .....	32
Tabela 3.15 – Concentração de poluentes nas águas de escoamento pluvial na França.....	32
Tabela 3.16 – Eficiências médias relativas observadas sobre bacias secas .....	40
Tabela 3.17 – Percentual de remoção de poluentes pelos pavimentos porosos .....	47
Tabela 3.18 – Eficiência na remoção de poluentes pelas trincheiras de infiltração .....	53
Tabela 3.19 – Síntese das técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana (adaptada de Castro, 2002).....	59
Tabela 4.1 – Leis estaduais de recursos hídricos.....	67
Tabela 4.2 – Principais intervenções em recursos hídricos ligadas à urbanização e sujeitas à análise da <i>Polícia da Água</i> (Chocat, 1997) .....	87
Tabela 4.3 – Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais e vazões consideradas insignificantes (ANA 2005) .....	91

Tabela 4.4 – Padrões de lançamento definidos por alguns estados e pela União (von Sperling, 1998 e Resolução CONAMA nº357/2005).....	92
Tabela 5.1- Tipologias de indicadores e medidas apresentadas por Kolsky e Butler (2002)	102
Tabela 6.1 – Limites de concentração de DBO nos cursos de água para cada classe de enquadramento.....	145
Tabela 6.2 – Padrões de lançamento e limites de concentração de poluentes em corpos de água.....	149
Tabela 7.1 – Pesos arbitrados pelos pesquisadores por critério de análise .....	177
Tabela 7.2 – Estatísticas básicas dos pesos arbitrados pelos pesquisadores por critério.....	177
Tabela 7.3 – Valores arbitrados pelos pesquisadores para os indicadores.....	178
Tabela 7.4 – Estatísticas básicas dos valores arbitrados pelos pesquisadores para os indicadores.....	178
Tabela 7.5 – Pesos arbitrados pelos representantes de órgãos gestores de recursos hídricos por critério de análise.....	179
Tabela 7.6 – Estatísticas básicas dos pesos arbitrados pelos representantes de órgãos gestores de recursos hídricos por critério .....	179
Tabela 7.7 – Valores arbitrados pelos representantes de órgãos gestores de recursos hídricos para os indicadores.....	180
Tabela 7.8 – Estatísticas básicas dos valores arbitrados pelos representantes de órgãos gestores de recursos hídricos para os indicadores .....	181
Tabela 7.9 – Médias dos valores arbitrados pelos especialistas por critério.....	181
Tabela 7.10 – Médias dos valores arbitrados pelos especialistas por indicador .....	182
Tabela 7.11 – Demandas previstas na área de projeto (CONSOL, 2004) .....	194
Tabela 7.12 – Resultados dos indicadores e principais dificuldades nos cálculos.....	203
Tabela 7.13 – Resultados dos indicadores e análise quanto aos índices de veto .....	205
Tabela 7.14 – Resultado da Taxa de Similitude para as diferentes ponderações.....	206
Tabela 7.15 – Resultado dos Índices de Credibilidade para as diferentes ponderações .....	209
Tabela 7.16 – Resultados dos cálculos dos indicadores pelos doutorandos .....	213
Tabela 7.17 – Taxas de Similitude calculadas por doutorando.....	214
Tabela 7.18 – Parâmetros utilizados e principais dificuldades nos cálculos dos indicadores	229
Tabela 7.19 – Resultados dos indicadores e análise quanto aos índices de veto .....	230
Tabela 7.20 – Resultado da Taxa de Similitude para os cenários avaliados.....	231

Tabela 7.21 – Resultado da Taxa de Similitude para as diferentes ponderações .....	232
Tabela 7.22 – Resultado dos índices de credibilidade para os diferentes cenários .....	235
Tabela 7.23 – Resultado dos índices de credibilidade para as diferentes ponderações .....	235
Tabela 7.24 – Comparação dos resultados obtidos pelas diferentes metodologias .....	240
Tabela 8.1 – Indicador $I_{qt3}$ calculado com a proposta inicial e com a formulação consolidada .....	248
Tabela 8.2 – Indicadores consolidados e ajustes realizados.....	258
Tabela 8.3 – Parâmetros de legislação necessários ao cálculo dos indicadores.....	260
Tabela 8.4 – Parâmetros de cálculo necessários aos indicadores .....	261
Tabela 8.5 – Índices de veto propostos para cada indicador .....	262
Tabela 8.6 – Valores calculados, índices de veto e pesos atribuídos para os novos indicadores .....	268
Tabela 8.7 – Resultado dos Índices de Credibilidade com a aplicação dos indicadores iniciais e consolidados .....	269
Tabela 8.8 – Resultados dos indicadores e análise quanto aos índices de veto .....	269
Tabela 8.9 – Resultado da Taxa de Similitude para os cenários avaliados.....	270
Tabela 8.10 – Resultado dos Índices de Credibilidade para os diferentes cenários .....	270

## NOTAÇÕES

$a_{ji}$  – valor da alternativa  $j$  para o critério  $i$

$a_i^m$  – valor mínimo, dentre as alternativas, para o critério  $i$

$a_i^M$  – valor máximo, dentre as alternativas, para o critério  $i$

$A_{Total}$  – Área total do projeto (ha)

$A_{armaz}$  – Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm o armazenamento/detenção das águas pluviais (ha)

$A_{armaz+infiltr}$  – Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm a atuação conjunta da detenção e infiltração das águas pluviais (ha)

$A_{inf}$  – Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm a infiltração das águas pluviais (ha)

$A_{dren}$  – Área de drenagem (ha)

$c_i(\underline{a}, \underline{b})$  – Índice de concordância no critério  $i$  da proposição “ $\underline{a}$  é tão boa quanto  $\underline{b}$ ”

$C(\underline{a}, \underline{b})$  – Índice de concordância global da proposição “ $\underline{a}$  é tão boa quanto  $\underline{b}$ ”

$C_{DBO\_nat}$  – DBO do curso de água em sua situação natural (mg/L)

$C_{DBO}$  – DBO do lançamento previsto (mg/L)

$C_{perm\_DBO}$  – DBO permitida para lançamento das águas de esgotamento sanitário, conforme legislação pertinente (mg/L)

$C_{efl}$  – Concentração do poluente considerado no efluente lançado (mg/L)

$C_{perm\_man}$  – Concentração do poluente considerado permitida no manancial, conforme enquadramento do curso de água e parâmetros estabelecidos em legislação pertinente (mg/L)

$C_{perm\_lanç}$  – Concentração do poluente considerado, permitida para lançamento, conforme legislação pertinente (mg/L)

$C_{man\_nat}$  – Concentração natural do poluente considerado no manancial (mg/L)

$d_i(\underline{a}, \underline{b})$  – Índice de discordância no critério  $i$  da proposição “ $\underline{a}$  é tão boa quanto  $\underline{b}$ ”

$d_p^m(a_j)$  – Distância da alternativa  $a_j$  segundo o critério  $i$  à solução anti-ideal

$d_p^M(a_j)$  – Distância da alternativa  $a_j$  segundo o critério  $i$  à solução ideal

$D_p(a_j)$  – Taxa de Similitude da alternativa  $a_j$  no método TOPSIS

$g_i(\underline{a})$  – avaliação da ação  $\underline{a}$  segundo o critério  $i$

$i$  – critério analisado

$I_{qL1}$  – Indicador de verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário

$I_{qL2}$  – Indicador de verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de esgotamento sanitário

$I_{qL3}$  – Indicador de verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de escoamento pluvial

$I_{qL4}$  – Indicador de verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de escoamento pluvial

$I_{qL5}$  – Indicador de verificação da remoção de poluentes proporcionada pelo sistema de drenagem

$I_{qt1}$  – Indicador de comparação do volume de infiltração de projeto em relação à situação natural ou em relação à situação atual

$I_{qt2}$  – Indicador de comparação das vazões mínimas escoadas com as demandas para usos consuntivos e vazão mínima remanescente

$I_{qt3}$  – Indicador de verificação da previsão de reutilização ou recuperação de águas

$I_{r1}$  – Indicador de comparação da vazão de pico proporcionada pela área urbanizada com a situação natural ou desejável

$I_{r2}$  – Indicador de comparação da vazão de pico com a que cause inundação a jusante

$I_{r3}$  – Indicador de verificação do período de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto

$K_{aum\_pico}$  – Coeficiente de máximo aumento autorizado de vazão de pico (Adimensional)

$K_{erro\_DBO}$  – Coeficiente referente ao erro da estimativa de DBO no efluente a ser lançado (Adimensional)

$K_{erro\_Pol}$  – Coeficiente referente à tolerância ou ao erro da estimativa da concentração do poluente analisado nas águas pluviais a serem lançadas (Adimensional)

$K_{erro}$  – Coeficiente referente à tolerância ou ao erro estimado nos cálculos das vazões de cheia (Adimensional)

$\lambda$  – Nível de corte

$p$  – valor correspondente ao tipo de distância que se deseja calcular no método TOPSIS

$p_i$  – limiar de preferência definido para o critério  $i$  para aplicação no Electre TRI

$q_i$  – limiar de indiferença definido para o critério  $i$  para aplicação no Electre TRI

$Q_{95}$  – Vazão de permanência por período mínimo de 95% do tempo

$Q_{90}$  – Vazão de permanência por período mínimo de 90% do tempo

$Q_{7,10}$  – Vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de recorrência

$Q_{dem}$  – Vazão prevista de demandas na área de projeto para usos consuntivos, com águas superficiais ( $m^3/s$ )

$Q_{dil}$  – Vazão necessária para diluir determinado efluente para manter o rio em sua classe de enquadramento ( $m^3/s$ )

$Q_{dil\_DBO}$  – Vazão de diluição necessária para manter o curso de água em sua classe de enquadramento após o lançamento do esgotamento sanitário da área urbanizada, considerando-se o parâmetro DBO ( $m^3/s$ )

$Q_{dil\_plu}$  – Vazão de diluição necessária para determinado lançamento de águas de escoamento pluvial de forma a manter o rio em sua classe de enquadramento ( $m^3/s$ )

$Q_{efl}$  – Vazão do efluente a ser lançado nos corpos de água ( $m^3/s$ )

$Q_{inund}$  – Vazão que pode causar inundações a jusante ( $m^3/s$ )

$Q_{min}$  – Vazão mínima estimada nos cursos de água superficiais na saída da área de projeto, para determinado período de retorno ( $m^3/s$ )

$Q_{pico\_alt}$  – Vazão de pico a jusante da área para o período de retorno de projeto ( $m^3/s$ )

$Q_{pico\_des}$  – Vazão máxima de pico desejável a jusante da área de projeto ( $m^3/s$ )

$Q_{pico\_nat}$  – Vazão de pico para o período de retorno de projeto, estando a bacia em sua situação natural ( $m^3/s$ )

$Q_{ref\_chuv}$  – Vazão de referência do curso de água nos meses chuvosos no ponto em que é realizado o lançamento ( $m^3/s$ )

$Q_{rem\_min}$  – Vazão mínima remanescente, considerando a vazão ecológica de referência utilizada pela autoridade outorgante e as demandas comprometidas a montante e a jusante da área de projeto ( $m^3/s$ )

$R_{esp\_tr}$  – Limite máximo de rendimento específico para a região em análise para o período de retorno de projeto (L/s.ha)

$\sigma(\underline{a}, \underline{b})$  – Índice de credibilidade global da proposição “ $\underline{a}$  é tão boa quanto  $\underline{b}$ ”

$T_{ret\_proj}$  – Período de retorno de projeto para proteção da área quanto a inundações (anos)

$T_{ret\_des}$  – Período de retorno desejável para proteção da área quanto a inundações (anos)

$v_i$  – limiar de veto definido para o critério  $i$

$V_{inf\_med}$  – Volume infiltrado médio da alternativa de projeto em análise ( $m^3$ )

$V_{inf\_nat}$  – Volume infiltrado na área de projeto em sua situação natural ( $m^3$ )

$V_{re}$  – Volume médio anual previsto de reutilização ou recuperação de águas na área em projeto de desenvolvimento urbano ( $m^3$ )

$V_{prec\_med}$  – Volume total correspondente à precipitação média anual na área de projeto ( $m^3$ )

$V_{tot\_dem}$  – Volume médio anual previsto de demandas de água para os usos múltiplos previstos na área de desenvolvimento urbano ( $m^3$ )

$w_i$  – peso do critério  $i$



# 1- INTRODUÇÃO

As cidades e os cursos de água sempre tiveram uma ligação muito importante ao longo da história da humanidade. Desde as primeiras aglomerações, pôde ser verificada a localização das cidades preferencialmente junto aos cursos de água em função de favorecer o suprimento para consumo e higiene das populações, além da evacuação de dejetos, navegação e defesa.

Na segunda metade do século XX, foi observado um grande aumento do porte dessas aglomerações. Esse processo de urbanização crescente pode ser justificado pela tendência da população mundial em se mudar para as cidades à procura de um melhor padrão de vida, além da grande industrialização ocorrida.

Com a implantação e o crescimento das áreas urbanas, diversas alterações no meio ambiente podem ser percebidas, provocando mudanças no ciclo hidrológico, relacionadas à quantidade, qualidade e regime dos corpos de água em meio urbano, influenciando áreas próximas. Essas mudanças referem-se, principalmente, à necessidade de captação de águas para suprimento de sua população, do lançamento dos efluentes resultantes, do sistema de drenagem e da supressão e modificação da cobertura vegetal para implantação da área urbana. Esse último efeito leva ao aumento do escoamento superficial devido à redução dos processos de infiltração, evapotranspiração e interceptação das águas precipitadas.

É relevante, ainda, o impacto do sistema de drenagem urbana escolhido a ser implantado, uma vez que há diversas alternativas possíveis, variando desde sistemas clássicos a compensatórios, que podem levar à ampliação ou à neutralização dos efeitos da urbanização sobre os corpos de água.

O lançamento de efluentes domésticos e das águas de escoamento pluvial pode levar a problemas, tais como depósitos de sedimentos nos corpos de água, depleção da concentração de oxigênio dissolvido, contaminação por organismos patogênicos, eutrofização, danos devido à presença de tóxicos ou alterações estéticas.

Em função da área escolhida para o desenvolvimento urbano, as vazões necessárias a serem captadas para o abastecimento da população prevista podem ter impactos mais ou menos relevantes, ocorrendo casos em que os mananciais são levados à sobrecarga e à indisponibilidade hídrica para a manutenção de vazões mínimas remanescentes ou ecológicas adequadas.

Sendo assim, a forma de implantação do desenvolvimento urbano, das técnicas e dos sistemas para drenagem urbana, dos mananciais para abastecimento humano e do tratamento e lançamento de efluentes domésticos ou pluviais resultam que as alterações previstas nos corpos de água podem ocorrer de forma aceitável ou não, levando, no segundo caso, a grandes impactos negativos nas áreas urbanas.

Esses aspectos têm sido observados com grande frequência nos últimos tempos, com a ocorrência de racionamentos em sistemas de abastecimento público de áreas urbanas importantes, inundações nas próprias áreas ou em domínios a jusante e deterioração dos mananciais em função do lançamento de águas poluídas em corpos de água que não dispõem de capacidade de diluição ou de suporte.

Na pesquisa bibliográfica realizada, não foram encontrados estudos que avaliem de forma global os impactos do desenvolvimento urbano nos corpos de água. Este é o principal motivador da presente pesquisa que objetiva a proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos provocados pelo desenvolvimento urbano nos corpos de água, de forma a dar suporte à decisão quanto à viabilidade de implantação desses empreendimentos.

A promulgação da Lei Federal 9.433, em 08 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou instrumentos a serem utilizados para a sua aplicação. Dentre esses está a outorga de direito de uso de recursos hídricos, que é o documento emitido pelo Poder Público que visa a autorizar a utilização das águas de seu domínio para quaisquer usos que alterem a quantidade, a qualidade e o regime existente nos corpos de água.

Muito se tem estudado no País quanto à determinação de critérios de outorga relacionados às alterações quantitativas ocasionadas pelas captações de águas superficiais ou pela exploração de águas subterrâneas para diversos fins, mas de forma isolada. Podem ser encontrados, ainda, estudos das alterações qualitativas com a proposição de parâmetros para enquadramento dos corpos de água ou para lançamento de efluentes, além da avaliação de vazões ecológicas ou remanescentes mínimas a serem mantidas em cursos de água.

Uma vez relevantes os possíveis impactos do desenvolvimento urbano, é também de suma importância a existência de ato autorizativo para a implantação desses empreendimentos. Sendo assim, a metodologia proposta foi verificada quanto à possibilidade de aplicação nos procedimentos de outorga, em função de avaliar suas alterações na quantidade, qualidade e regime dos corpos de água.

## **2- OBJETIVOS E DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO**

### **2.1- Objetivos**

O presente trabalho apresenta como objetivo geral a proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos do desenvolvimento urbano nos corpos de água. Para isso, foram concebidos indicadores relacionados a cada um dos aspectos de qualidade, quantidade e regime alterados, que foram tratados por meio de método de agregação, proporcionando o estabelecimento de uma sistemática de análise para o apoio à decisão quanto à aceitação desses empreendimentos.

Para o atendimento a esse objetivo geral, foram abertas perspectivas de desenvolvimento de objetivos específicos intermediários, gerando informações e resultados relevantes para o meio acadêmico e profissional. Esses objetivos específicos são apresentados a seguir:

- Analisar a utilização de indicadores e métodos de agregação com análises de critério único ou multicritério na avaliação e escolha de alternativas de projeto;
- Avaliar a possibilidade de aplicação de métodos de análise multicritério para suporte à decisão de órgãos gestores de recursos hídricos;
- Aplicar sistemática de análise crítica dos indicadores e da metodologia proposta, visando à sua verificação e consolidação;
- Avaliar a possibilidade da aplicação da metodologia proposta para a análise de processos de outorga de direito de uso de recursos hídricos para empreendimentos de urbanização;
- Verificar a possibilidade de aplicação da metodologia proposta para outros fins.

### **2.2- Desenvolvimento Metodológico**

O texto está estruturado em nove capítulos, incluindo o primeiro com a introdução e as justificativas e este, referente aos objetivos buscados com a pesquisa e o desenvolvimento metodológico.

A revisão bibliográfica dos impactos da urbanização nos corpos de água existentes na área de influência do desenvolvimento urbano é apresentada no terceiro capítulo. Nesse momento, é realizada uma análise dos possíveis impactos da urbanização no ciclo hidrológico, notadamente no que se refere a alterações de quantidade, qualidade e regime dos corpos de água em meio urbano, envolvendo suas causas e conseqüências.

Posteriormente, ainda no mesmo capítulo, é realizado um histórico da evolução das tecnologias de drenagem urbana ao longo do tempo e são avaliados os sistemas clássicos e compensatórios, com a apresentação de estudos demonstrando suas interferências nos corpos de água, que podem ampliar os efeitos causados pela urbanização ou buscar a sua neutralização.

No quarto capítulo, é feita uma avaliação da legislação de recursos hídricos federal e dos estados brasileiros relacionada à outorga, verificando aspectos em que a urbanização poderia estar enquadrada. No primeiro momento, é apresentada uma introdução abordando o histórico da legislação de recursos hídricos no País. A seguir, é abordada a questão da dominialidade das águas pluviais, desde o código de águas de 1934 até a Lei que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, em 1997. Esse capítulo relaciona, ainda, os principais itens referentes à outorga presentes nas legislações federal, estadual e de alguns outros países. No final do capítulo, apresenta-se o que já existe no País sobre critérios de outorga quanto a alterações na quantidade, qualidade e regime dos corpos de água.

Posteriormente, o quinto capítulo apresenta discussão e análise das metodologias aplicadas para a avaliação e escolha de alternativas de projeto, utilizando indicadores e métodos de agregação com análises de critério único ou multicritério. No mesmo capítulo, são escolhidos os métodos a serem aplicados para a análise proposta e são apresentadas as suas formulações.

No sexto capítulo, é apresentada a metodologia proposta para avaliar os empreendimentos de desenvolvimento urbano, envolvendo os aspectos formais e técnicos de análise. Quanto aos aspectos técnicos, são apresentados os indicadores propostos e sua formulação de cálculo, os parâmetros básicos a serem utilizados em cada um dos métodos multicritério e as possibilidades de decisão indicadas com os resultados das análises. Nesse mesmo capítulo, é indicada uma possibilidade de aplicação da metodologia proposta como análise em processos de outorga para urbanização, por meio da proposição de bases formais para esse procedimento.

No capítulo seguinte, é aplicada sistemática de análise crítica dos indicadores e da metodologia propostos e são discutidos seus resultados, visando à verificação e à consolidação da proposição. Essa análise foi realizada por meio de comparação com os sistemas utilizados atualmente, consulta a especialistas, aplicação em estudos de caso, avaliação por outros doutorandos e análises de sensibilidade e robustez, além da comparação com outras metodologias. A análise crítica foi relevante, ainda, para avaliar a possibilidade de

aplicação dos métodos multicritério como suporte à decisão de órgãos gestores de recursos hídricos.

No oitavo capítulo, é apresentada a consolidação da metodologia proposta, com os ajustes considerados relevantes após a análise crítica realizada.

Finalmente, no nono capítulo, são destacadas as principais conclusões do trabalho e ressaltadas algumas perspectivas promissoras para a continuação dos estudos.



## **3- IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO E DAS TÉCNICAS DE DRENAGEM URBANA NO CICLO HIDROLÓGICO**

### ***3.1- A Urbanização e o Ciclo Hidrológico***

A partir da segunda metade do século XX, com o início de um crescente processo de urbanização, pôde-se perceber uma grande tendência da população mundial em se mudar para as cidades à procura de um melhor padrão de vida. Segundo dados da IAURIF (1997), a população urbana mundial, que representava 25% do total em 1950, deve superar 60% no ano 2025. Esse fenômeno pode ser também verificado no Brasil, ao observar que, segundo dados do censo demográfico realizado pelo IBGE (2000), estima-se que a população urbana brasileira corresponda a cerca de 81% do total.

Com isso, diversas alterações no meio ambiente podem ser percebidas, provocando mudanças no ciclo hidrológico, relacionadas à quantidade, qualidade e regime dos cursos de água.

Quanto às alterações nos aspectos quantitativos e no regime dos cursos de água, tratam-se, de maneira geral, do aumento das áreas impermeáveis, levando, com isso, à redução da infiltração e ao aumento do volume de escoamento superficial. Esses efeitos, associados à concepção clássica dos sistemas de drenagem urbana, levaram ao aumento da magnitude dos picos de cheia e à freqüente ocorrência de crises de funcionamento, resultando em inundações de áreas urbanas, com seus impactos sociais, econômicos e ambientais. Outro aspecto quantitativo influenciado pela urbanização trata-se dos volumes de águas captados destinados ao abastecimento das necessidades da área.

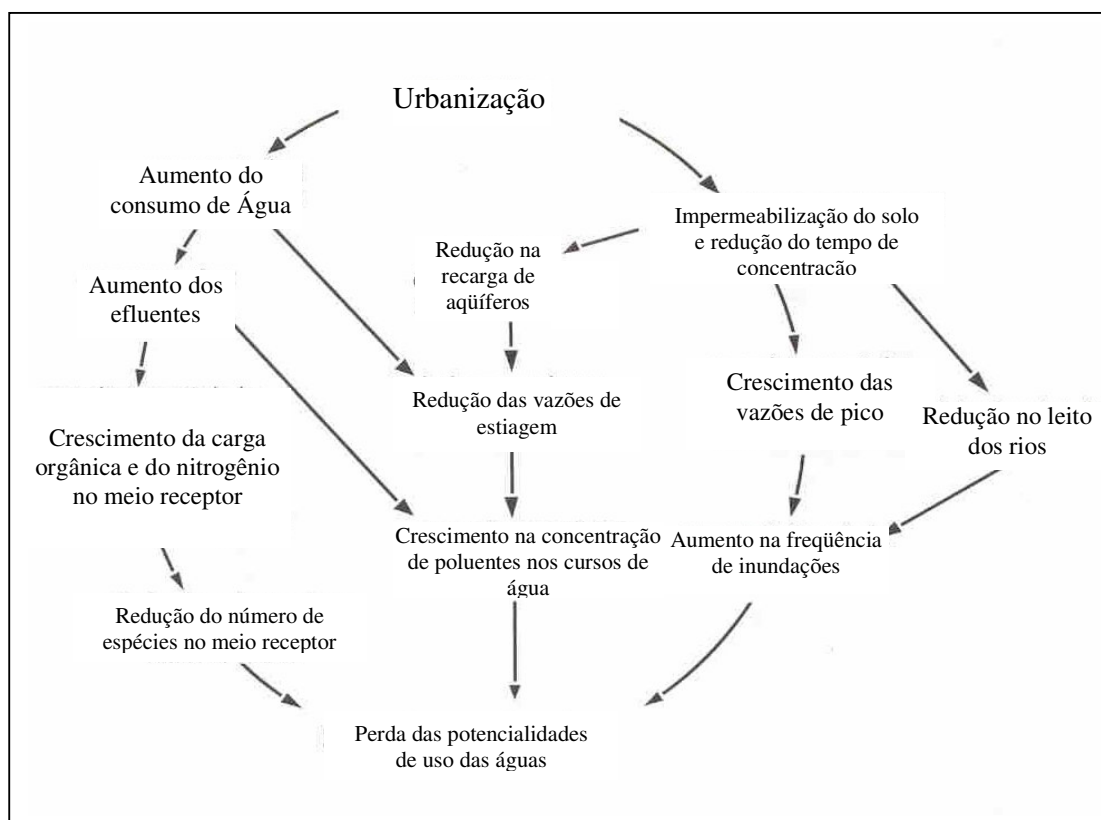
Em paralelo, sob o ponto de vista da qualidade da água, os impactos da urbanização são também significativos. Ellis e Hvited-Jacobsen (1996) afirmam que a carga de poluentes presente nas águas pluviais mostra-se bastante expressiva, sendo muitas vezes equivalente ou mesmo superior à carga referente aos esgotos sanitários, em função do tipo de ocupação da área urbanizada.

As informações referentes aos efeitos da urbanização no escoamento dos cursos de água no Brasil não são obtidas com facilidade. Em primeiro lugar, vale afirmar que não são muitos os estudos desenvolvidos acerca do tema. Além disso, a maior parte dos estudos já realizados tem a finalidade de resolver algum problema específico, acarretando a não-preocupação com uma análise das causas que levaram a ele. Muitas vezes, são realizados estudos para

desenvolvimento de alternativas para a solução do problema das inundações em uma determinada área, sem se preocupar com as suas causas.

Estudos mais completos sobre os efeitos da urbanização no ciclo hidrológico poderiam trazer grandes ganhos no sentido de tentar prevenir problemas futuros no desenvolvimento e crescimento de áreas urbanas. Além disso, esses estudos seriam sobremaneira importantes para a identificação e proposição dos mais adequados sistemas de drenagem para uma determinada área.

Em resumo, podem ser numerosos os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, sendo apresentados os principais na Figura 3.1.



**Figura 3.1** – Impactos da urbanização nos corpos de água (adaptada de Chocat, 1997)

### **3.2- Impactos da Urbanização nos Volumes e Vazões Escoados**

#### **3.2.1- Principais impactos verificados**

Os impactos da urbanização nos parâmetros do ciclo hidrológico podem ser variados. Segundo Campana (1995), as mudanças no comportamento hidrológico podem se caracterizar em função de alterações de quantidade e de regime, da seguinte forma:



- Em termos de volume, na forma do balanço hídrico, por meio da alteração na quantificação dos diversos componentes do ciclo hidrológico (precipitação, evapotranspiração, interceptação, infiltração, escoamento direto, entre outros);
- Por meio da análise do hidrograma de escoamento superficial. Nesse caso, as alterações observadas são, principalmente, em termos de vazão de pico e de tempo de concentração, mas também se relacionam ao volume escoado superficialmente.

Chocat (1997) apresenta os principais efeitos da urbanização que podem causar os impactos ou alterações no comportamento hidrológico, sendo eles:

- Impermeabilização dos solos;
- Aumento da velocidade dos escoamentos;
- Construção de obstáculos ao escoamento;
- Artificialização dos cursos de água urbanos.

#### Impermeabilização dos solos

Uma das conseqüências mais visíveis da urbanização é a impermeabilização dos solos, que reduz os volumes de água infiltrada. É um fenômeno que pode ser citado como de grande importância e que deve ser levado sempre em consideração. Os estudos hidrológicos têm mostrado ser a área impermeabilizada um parâmetro cujo valor tem apresentado aumentos consideráveis com a urbanização ocorrida no século passado.

O grande impacto desse fenômeno refere-se ao aumento dos volumes de água escoados. Segundo Chocat (1992), o efeito da amplificação dos volumes escoados é fortemente sentido no caso de eventos pluviais de maior freqüência, como aqueles levados em consideração no cálculo de sistemas de drenagem (da ordem de 10 ou 25 anos de período de retorno). Entretanto, não faz tanta diferença no caso de eventos excepcionais. Isso ocorre em função do fato de que a capacidade de infiltração da maior parte dos solos saturados, com exceção das áreas arenosas ou com cobertura vegetal densa, ser inferior às intensidades dos eventos pluviais excepcionais. Sendo assim, no caso desses eventos, os volumes específicos escoados nos solos rurais tendem a valores semelhantes aos dos solos impermeabilizados.

Segundo Chocat (1990), na cheia ocorrida em Yzeron, próxima a Lyon, na França, em 1989, o coeficiente de escoamento superficial da parte rural da bacia foi estimado em 50% enquanto o mesmo coeficiente para a parte urbana foi de 60%.

Uma outra consequência relevante da impermeabilização dos solos se refere à redução da recarga dos aquíferos. Esse fenômeno pode influenciar, particularmente, no caso de municípios ou áreas cujo abastecimento humano ou outros consumos importantes sejam realizados por meio de águas subterrâneas.

Outro efeito possível de ser causado pela redução da recarga de aquíferos e o consequente rebaixamento do nível do lençol relaciona-se à formação de depressões ou dolinas no terreno, que podem levar a impactos nas construções civis. Segundo Ledoux (1995), com a seca ocorrida na França em 1990, as indenizações pagas pelas seguradoras em função de degradações dos imóveis (fissuras, rebatimentos, etc.) corresponderam ao dobro daquelas pagas devido aos seus efeitos na agricultura.

#### Aumento da velocidade dos escoamentos

Outra consequência direta da urbanização é a aceleração dos escoamentos, que leva ao aumento dos riscos de inundações. O aumento das velocidades de escoamento, levando à consequente redução dos tempos de concentração, mesmo mantendo-se constante o coeficiente de escoamento superficial, seria suficiente para possibilitar o crescimento das vazões de pico.

Esse efeito é observado nas áreas urbanas devido à substituição da rede hidrográfica natural, com seus caminhamentos sinuosos e baixas declividades, por redes de drenagem de traçados retilíneos para reduzir as distâncias e dotadas de maior declividade para reduzir o seu diâmetro, seu custo e, ao mesmo tempo, limitar a sedimentação.

Segundo Desbordes (1989), com o efeito conjugado dessas ações, algumas bacias tiveram seus tempos de concentração reduzidos por 5 a 15 vezes, com duas consequências principais. Em primeiro lugar, para a mesma chuva e mesmo volume escoado, eleva-se a vazão de pico. Em segundo lugar, torna a bacia mais sensível a eventos chuvosos de duração mais curta, mas com grande intensidade, produzindo maiores vazões específicas. No total, ele afirma que a redução do tempo de resposta da bacia pode conduzir à multiplicação das vazões de pico específicas por fatores variando de 5 a 50.

#### Construção de obstáculos ao escoamento

A urbanização de uma área é sempre acompanhada da implantação de uma rede de ruas e avenidas, que podem ser construídas em sobre-elevação em relação ao terreno natural ou em

trincheira. Essas vias acabam criando um relevo artificial que, particularmente nas regiões de relevo menos acidentado, pode alterar consideravelmente o escoamento das águas superficiais. Segundo Chocat (1997):

- Quando as vias são perpendiculares ao declive e, conseqüentemente, às linhas de escoamento natural da água, elas podem constituir verdadeiros diques, prejudicando o escoamento das águas pluviais. Em alguns casos, o traçado das ruas pode modificar até a delimitação da própria bacia de drenagem;
- Quando as vias são no sentido da declividade, podem constituir verdadeiros canais retilíneos, com baixa rugosidade em relação à situação natural. Nesses casos, os escoamentos podem atingir velocidades muito altas, mais uma vez influenciando a redução dos tempos de concentração das bacias, que deve levar ao aumento das vazões de pico de cheia.

#### Artificialização dos cursos de água urbanos

Segundo Chocat (1997), a partir da metade do século XVIII, na Europa, iniciam-se os trabalhos de construção de diques, alargamento e retificação dos cursos de água urbanos. Essas obras foram iniciadas no Brasil posteriormente, na segunda metade do século XIX. Com elas, os cursos de água urbanos foram tubulados, canalizados ou mesmo desviados das áreas urbanas. Os resultados são que:

- Os cursos de água urbanos foram progressivamente esquecidos pela população, que passa a percebê-los apenas nos momentos em que eles lhes causam danos ou prejuízos;
- Os cursos de água perderam a possibilidade natural de expansão para suas seções plenas nos períodos de cheias.

As conseqüências desses fatos podem ser muito impactantes. Uma vez construídos os diques, canalizados ou tubulados os cursos de água, a população se sente protegida e não habituada à sua presença. Nesses casos, as inundações mostram uma vulnerabilidade maior da população: instalações sensíveis nos subsolos (cabearno de energia elétrica ou telefonia e tubulações de água sem proteção), estacionamentos subterrâneos, armazenamento de produtos frágeis no subsolo ou no térreo das construções, acompanhados da inexperiência dos cidadãos, podem levar a prejuízos catastróficos. Além disso, com o sentimento de proteção, a população tende a construir imóveis residenciais e comerciais próximos dos cursos de água e que poderão ser facilmente prejudicados com os eventos de cheias.

No plano ecológico, esse ato de artificializar os cursos de água urbanos também pode trazer conseqüências. Um curso de água é um meio vivo que deve ser considerado com sua dinâmica. A sucessão de cheias e estiagens, o transporte de sólidos em suspensão, a transformação freqüente do seu leito e a diversidade dos habitats são indispensáveis ao seu equilíbrio. Nesse sentido, um curso de água não pode ser separado de seu meio ambiente: sua bacia de drenagem, a vegetação natural das margens e de seu leito maior, além de suas áreas de recarga subterrânea condicionam o seu bom funcionamento.

### **3.2.2- Impactos devidos à supressão da cobertura vegetal**

Conforme Tucci (2003), a alteração da cobertura vegetal da bacia realizada para a urbanização, reflorestamento ou plantio de culturas agrícolas permanentes ou anuais pode levar a impactos significativos sobre o escoamento. A supressão da cobertura vegetal para a urbanização de uma área leva aos efeitos mais pronunciados uma vez que pode acarretar na eliminação da evapotranspiração associada à redução da interceptação e da infiltração.

Um dos primeiros estudos realizados sobre esse tema foi por Hibbert (1967), conforme citado por Bosch e Hewlett (1982), tendo analisado informações de experimentos em 39 bacias hidrográficas no mundo, fazendo as seguintes generalizações:

- A redução das áreas de cobertura vegetal aumenta o escoamento superficial;
- O estabelecimento de novas áreas vegetadas de forma esparsa ou por meio de florestas diminui o escoamento superficial;
- A determinação dos percentuais de variação do escoamento superficial em função da supressão de vegetação, na maioria das vezes, não pode ser realizada com precisão.

Posteriormente, Bosch e Hewlett (1982) ampliaram seu estudo analisando um total de 94 bacias hidrográficas com média de 80 ha (variando entre 1 e 2500ha), buscando tendências e valores para a variação do escoamento superficial em função do tipo de vegetação removida. Em seu estudo, foram apresentados os seguintes resultados:

- A influência na vazão média normalmente não é perceptível em desmatamentos inferiores a 20%;
- No caso de espécies tipo coníferas ou eucaliptos, a sua retirada causa aumento de cerca de 40mm na vazão média anual para cada 10% de alteração de cobertura;
- Para espécies rasteiras, a supressão produz aumento de 10 mm na vazão média anual para cada 10% de cobertura suprimida;

- Em florestas com maioria de árvores caducas, a sua supressão leva a aumentos de 25mm na vazão média anual em cada 10% de área de cobertura suprimida;
- O maior aumento verificado em seus estudos foi em uma bacia de 14 ha na Carolina do Norte, Estados Unidos, em que a supressão de 100% da vegetação natural existente levou ao aumento de 660mm no deflúvio médio escoado anualmente. A precipitação média anual na região é de 1.895mm e o deflúvio médio escoado anualmente correspondia a 775mm.

Sahin e Hall (1996) apresentaram outro estudo com as influências da mudança da cobertura vegetal no escoamento de uma bacia hidrográfica. Os dados para sua pesquisa foram obtidos de um total de 145 bacias experimentais estudadas com efeitos de desmatamento e reflorestamento de diferentes espécies vegetais em vários tipos de florestas, ampliando as 94 bacias estudadas por Bosch e Hewlett (1982), mantendo-se a análise em bacias hidrográficas de pequeno porte. Seus resultados foram apresentados em função dos impactos causados pela mudança de cobertura vegetal no escoamento superficial médio anual, sendo separados em função da mudança de desde 10% da vegetação até da sua completa supressão (Tabela 3.1). Seus estudos informaram, ainda, que a maior parte das áreas pesquisadas drenam alguns hectares, o que leva à possibilidade de consideração de efeitos semelhantes no caso de urbanização de condomínios, loteamentos ou novos bairros.

**Tabela 3.1** – Aumento do escoamento superficial devido à alteração da cobertura vegetal (Sahin e Hall, 1996)

Tipo de Cobertura Vegetal	Remoção de 100% (aumento do escoamento médio anual em mm)	Remoção de cada 10% (aumento do escoamento médio anual em mm)
Coníferas	330	23
Eucaliptos	178	6
Floresta Tropical	213	10
Floresta de Folhosas (< 1.500mm)	201	19
Floresta de Folhosas (> 1.500mm)	169	17
Savanas (desmatamento)	92	9
Savanas (replanteio)	-220	-5

De acordo com os estudos apresentados anteriormente sobre a mudança de cobertura vegetal, pode ser verificado que o novo balanço hídrico em meio urbano resultará no escoamento de maior percentual dos volumes precipitados para os cursos de água superficiais, aumentando as vazões médias escoadas anualmente. Esse efeito é causado pela sensível redução dos volumes infiltrados, da evapotranspiração e da intercepção. Vale ressaltar que os estudos apresentados tratam de bacias de pequeno porte, mais adequados à verificação da influência da

urbanização. Em grandes bacias, em função do efeito de escala, os percentuais de aumento do escoamento médio anual podem ser diferentes.

### **3.2.3- Alguns resultados de estudos realizados**

Conforme apresentado anteriormente, não são muitos os estudos desenvolvidos com a finalidade de verificar os impactos da urbanização no ciclo hidrológico. Apesar desse fato, foram buscados alguns dos estudos desenvolvidos no Brasil e no mundo.

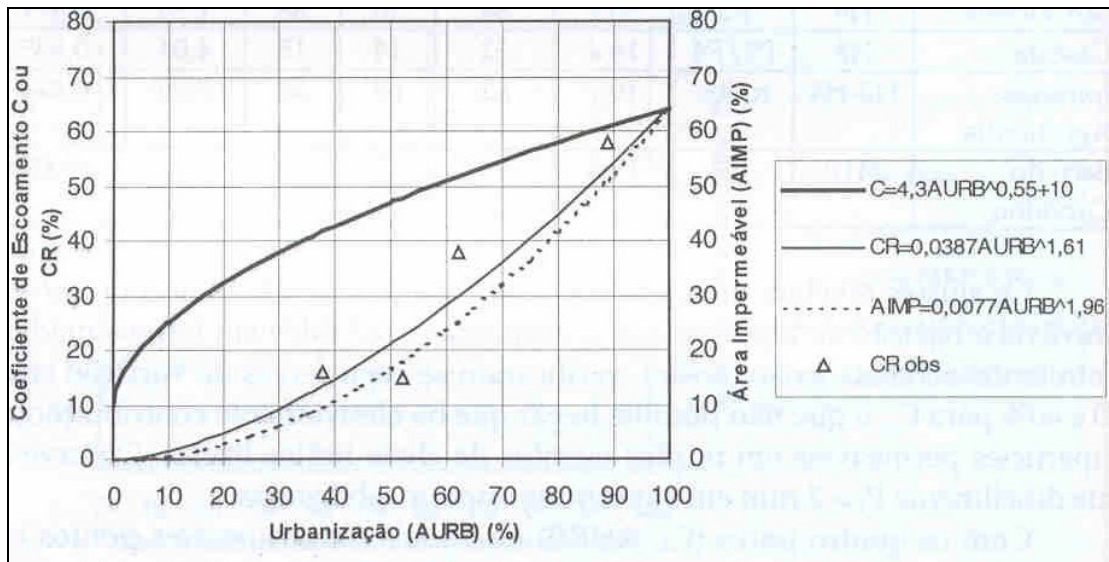
Silveira (2000a) apresentou estudo de quantificação do impacto da urbanização sobre os coeficientes de escoamento de Porto Alegre. Para seu trabalho, foram utilizadas as informações de um monitoramento realizado na bacia do arroio Dilúvio entre o final da década de 1970 e início dos anos 1980. Foram abordados os impactos observados sobre o coeficiente global do escoamento de cursos de água urbanos, assim como sobre o coeficiente de escoamento superficial de eventos isolados ocorridos nas bacias de drenagem desses mesmos cursos de água.

O coeficiente de escoamento global foi considerado como a razão entre a lâmina equivalente ao volume anual escoado na bacia (escoamento de base acrescido do escoamento superficial) e a lâmina precipitada anual. Sua principal conclusão foi que esse coeficiente de escoamento evolui rapidamente com o crescimento da taxa de impermeabilização até 20% (correspondente a uma urbanização média de 50%), atingindo valores entre 45% e 50%. A partir desse estágio, com o avanço da urbanização sobre a bacia, o mesmo coeficiente encaminha-se mais lentamente para um valor limite um pouco acima de 60%. Admitindo-se um coeficiente de escoamento mínimo de 10% para bacias em seu estado natural, pode ser verificado que o potencial aumento de escoamento é de cerca de 6 vezes, atingindo 4,5 a 5,0 vezes com a urbanização de 50%.

Esses fatores levam a consideráveis alterações no balanço hídrico, com a redução das perdas anuais por evapotranspiração, diminuição da recarga dos aquíferos e do escoamento de base, com o conseqüente aumento dos volumes escoados na rede pluvial.

No tocante ao coeficiente de escoamento superficial de eventos isolados, foi verificada a possibilidade de aproximação de seus valores em relação aos referentes à área impermeabilizada. Quanto à sua relação com a área urbanizada, verificou-se comportamento diverso daquele representado pelo coeficiente de escoamento global. Com cerca de 50% da área urbanizada, o coeficiente de escoamento superficial de eventos isolados correspondeu a

cerca de 20%. Com o aumento da área urbanizada a partir desse valor, ele tende a aumentar sua taxa de crescimento até se igualar ao coeficiente de escoamento global limite em cerca de 64% com a urbanização de 100%, conforme pode ser observado na Figura 3.2.



**Figura 3.2** – Variação do coeficiente de escoamento superficial com a urbanização (Silveira 2000a)

Legenda: C = Coeficiente de escoamento superficial global  
 CR = Coeficiente de escoamento superficial de eventos isolados  
 AIMP = Área impermeabilizada; AURB = Área Urbanizada

Em estudos hidrológicos, parâmetros importantes a serem comparados para verificar os efeitos da urbanização são: a área impermeável da bacia e o seu tempo de concentração. Este último pode ser calculado em função da velocidade média de escoamento, que por sua vez é influenciada pela implantação de redes de drenagem.

Campana e Tucci (1994) apresentaram resultado de um estudo para a obtenção da relação entre a densidade habitacional e a fração da área impermeável. Seus cálculos de densidade habitacional foram obtidos por meio de medições em ortofotos e, posteriormente, com a utilização de sensoriamento remoto com base na ocupação de São Paulo, Curitiba e Porto Alegre. Os resultados de seus cálculos são apresentados na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2 – Fração de áreas impermeáveis em função da densidade habitacional**

Densidade Habitacional (hab/ha)	Fração de Área Impermeável (%)
25	11,3
40	26,7
60	36,7
80	46,6
100	49,0
120	53,4
140	57,2
160	60,4
180	63,2
200	65,8

Fonte: Campana e Tucci (1994)

Ainda em seus estudos, foram apresentadas limitações para a utilização da Tabela: é aplicável apenas para bacias com área de drenagem superior a 2,0 km<sup>2</sup>; não distingue o tipo de ocupação urbana, admitindo áreas residenciais e comerciais, com predominância das primeiras; não é recomendável sua aplicação em áreas de relevo acidentado, que podem mascarar algumas informações.

A Tabela 3.2 pode ser adaptada para determinação da área impermeável média per capita, sendo apresentada na Tabela 3.3. Nessa Tabela, pode ser observado que a área impermeável média por habitante é crescente com o aumento da densidade até o valor de 40 hab/ha e tende a reduzir para densidades mais altas. Esse fato ocorre em função das áreas urbanas com densidades habitacionais inferiores a 40 hab/ha tratarem de áreas predominantemente residenciais unifamiliares. A partir desse valor, pode ser verificada a predominância de habitações multifamiliares, o que leva à conseqüente redução da área impermeável por habitante.

**Tabela 3.3 – Área impermeável média por habitante (m<sup>2</sup>)**

Densidade Habitacional (hab/ha)	Área impermeável média por habitante (m <sup>2</sup> )
25	45,20
40	66,75
60	61,17
80	58,25
100	49,00
120	44,50
140	40,86
160	37,75
180	35,11
200	32,90



No estudo de Campana e Tucci (2000), são apresentadas relações entre as vazões de escoamento superficial em Porto Alegre para algumas alternativas de urbanização, comparando com o cenário de urbanização em 1979. O estudo foi realizado em duas seções do arroio Dilúvio para chuvas de projeto com períodos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos. Os resultados apresentados relacionam as vazões máximas escoadas para a ocupação máxima fixada pelo primeiro Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, em 1979, considerando recuo permeável nos lotes e 50% de recuo impermeável, com aquelas escoadas para a urbanização verificada à época. Esses resultados são apresentados na Tabela 3.4 em que a situação 1 trata da consideração do recuo permeável dos lotes e a situação 2 considera 50 % do recuo impermeável.

**Tabela 3.4 – Acréscimo nas vazões de pico para duas situações de urbanização**

Tempo de Retorno	Acréscimo de vazão de pico de escoamento superficial (%)	
	Situação 1	Situação 2
2	47,6	52,1
5	35,8	44,1
10	19,8	25,2
25	15,6	20,7

Fonte: Campana e Tucci (2000)

A previsão das vazões de pico nos cenários futuros, por meio da estimativa dos hidrogramas de cheias, é de suma importância no planejamento dos sistemas de drenagem a serem implantados, bem como na determinação das áreas a serem reservadas para amortecimento e contenção da ampliação das cheias.

Silveira (2000b) analisou o efeito da urbanização nas curvas IDF – intensidade-duração-frequência das precipitações. Em seu estudo, o autor tentou evidenciar o efeito urbano nas precipitações, avaliando possíveis diferenças espaciais nas relações IDF sobre uma área que apresenta partes urbanas e rurais em Porto Alegre.

Seus resultados mostraram que os valores médios das intensidades de precipitação na área urbanizada foram significativamente mais elevados que aqueles referentes à área não urbanizada da bacia. Foi observado, ainda, que, com o aumento da duração das chuvas, o efeito da urbanização é reduzido, conforme apresentado na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5 – Razões entre intensidades de precipitação em área urbana (U) e rural (R)**

t (min)	30	60	90	120	240	360	480
U/R	1,26	1,22	1,21	1,18	1,15	1,16	1,09

Fonte: Silveira (2000b)

Quanto às lâminas precipitadas médias por eventos, também foram verificadas diferenças entre as áreas urbanas e rurais, sendo maiores aquelas ocorridas nas áreas urbanas. Essa análise foi realizada de forma sazonal, verificando um aumento mais pronunciado nas chuvas de verão e de primavera, conforme apresentado na Tabela 3.6.

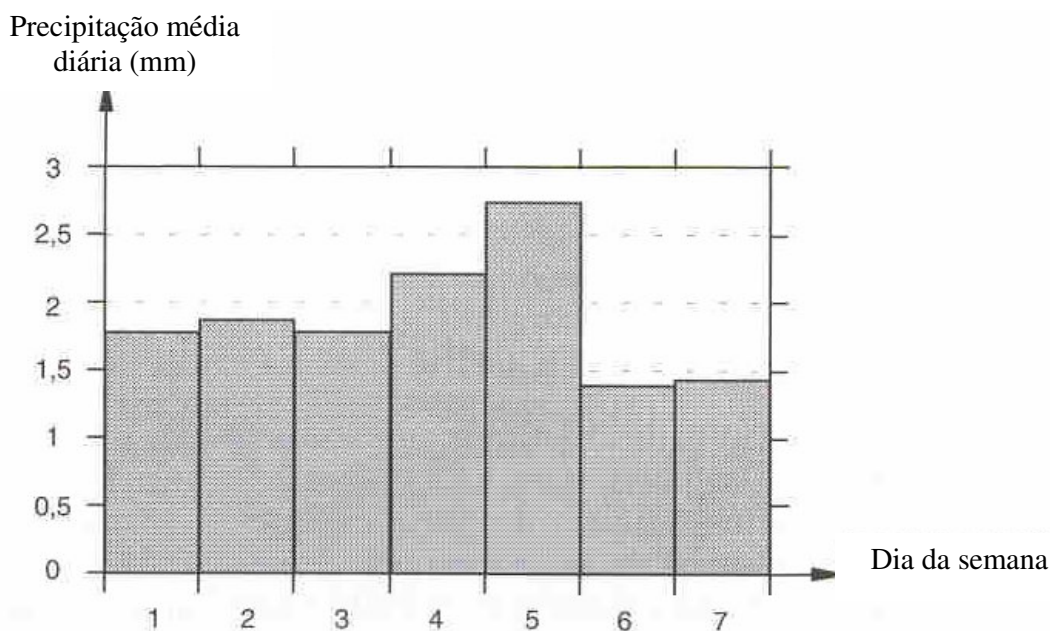
**Tabela 3.6** – Precipitação média (mm) de eventos por estação e por área (urbana ou rural)

Período	Bacia Completa	Parte Urbana	Parte Rural	U/R
Ano	22,1	23,3	19,9	1,17
Primavera	19,5	20,8	17,0	1,22
Verão	19,7	21,9	15,9	1,38
Outono	25,2	25,9	24,2	1,07
Inverno	24,1	24,6	22,8	1,08
prim-verão	19,6	21,3	16,5	1,29
out-inverno	24,6	25,2	23,4	1,08

Fonte: Silveira (2000b)

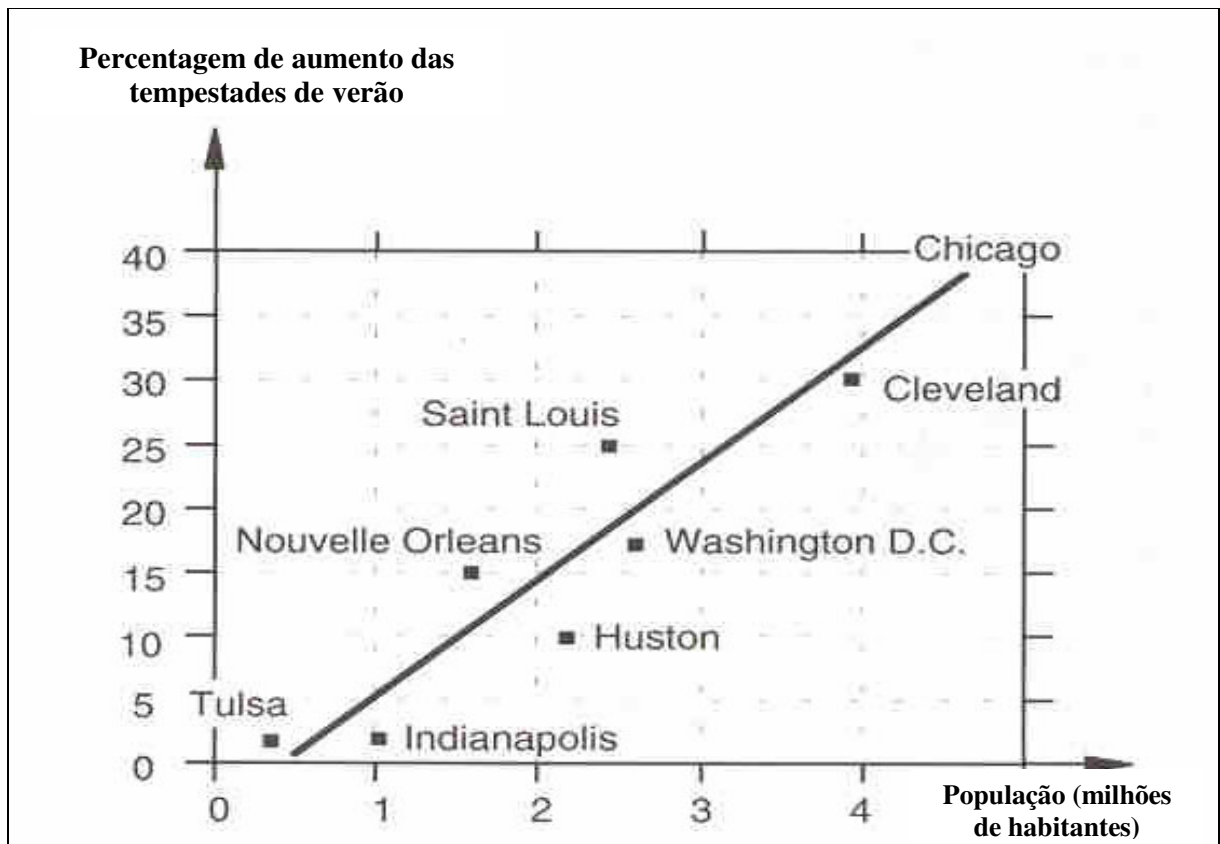
No entanto, Silveira (2000b) ressalta que não foi possível estabelecer, com os dados disponíveis, uma relação de causa e efeito entre a urbanização e o aumento das precipitações. Isso porque outras hipóteses devem, ainda, ser verificadas, entre as quais, o efeito orográfico e o da proximidade da área urbana com o lago Guaíba, que seria uma fonte de umidade.

Em função de sua estrutura e de sua emissão de poluentes, além de outros fatores, uma cidade pode determinar alterações na forma das precipitações. Detwiller (1970) *apud* Chocat (1997) apresentou estudo com as médias pluviométricas da cidade de Paris em função dos dias da semana. Seus estudos utilizaram dados pluviométricos diários de um período histórico de 48 anos. Por meio de seus resultados, mostrados na Figura 3.3, pode ser verificada claramente uma maior precipitação nos dias úteis, notadamente, nas quintas-feiras e sextas-feiras em relação aos finais de semana (sábados e domingos), mostrando a influência das atividades urbanas e do efeito antrópico na precipitação.



**Figura 3.3** – Precipitação média em Paris em função do dia da semana (1 para segunda-feira e 7 para domingo). Detwiller (1970) *apud* Chocat (1997)

Outro estudo realizado para verificar a influência da urbanização nas chuvas foi o de Changnon (1976). Em seu trabalho, cujos resultados são apresentados na Figura 3.4, foi verificado o percentual de acréscimo nas tempestades de verão nas áreas urbanas em relação às áreas rurais em seu entorno. Em seguida, esse percentual de acréscimo foi relacionado à população da área urbana. Por exemplo, a cidade de Cleveland, com população de 3,8 milhões de habitantes em 1970, teve 30% a mais de tempestades de verão que as áreas rurais em seu entorno. Sua conclusão foi que o efeito da área urbana sobre a chuva depende de sua população e, conseqüentemente, de seu porte.



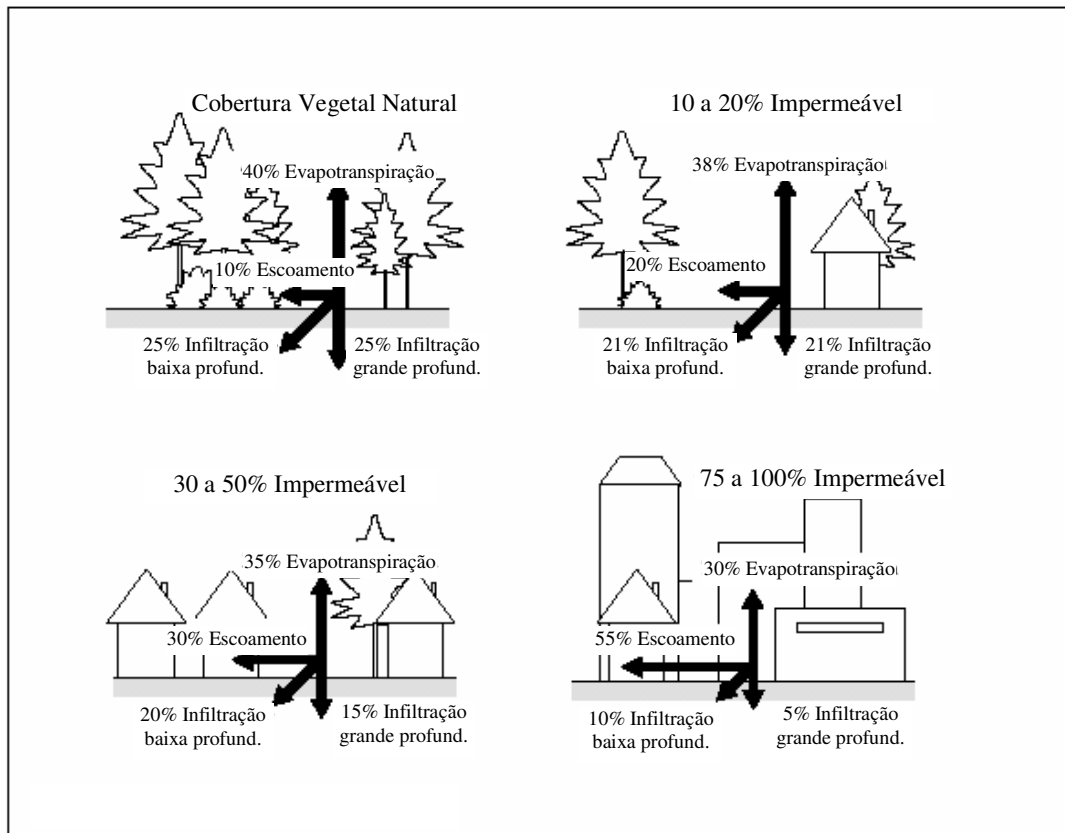
**Figura 3.4** – Aumento da freqüência de tempestades de verão em área urbana em relação à área rural de entorno em função da população da cidade. Changnon (1976)

Esses resultados são explicados, principalmente, por três fatores:

- A atmosfera urbana é mais quente que o ambiente ao seu redor, em função das características térmicas das superfícies existentes nas cidades (asfalto, passeios, telhas), do efeito estufa causado pela poluição atmosférica e da própria produção térmica devido ao aquecimento doméstico, às indústrias e à circulação de veículos;
- A grande rugosidade das áreas urbanas, em função da construção de edifícios de diferentes alturas, pode induzir turbulências capazes de desestabilizar massas de ar de baixas altitudes, influenciando a formação de chuvas;
- Diferentes atividades urbanas podem produzir aerossóis capazes de formar núcleos de concentração indutores de eventos chuvosos.

Com a urbanização e seus efeitos no ciclo hidrológico, o balanço hídrico é alterado nas bacias em área urbana. Alguns dos efeitos ocorridos e já apresentados anteriormente são: aumento do volume de escoamento superficial, redução da recarga dos aquíferos, da evapotranspiração e da interceptação. US-EPA (1999) apresenta o efeito da urbanização sobre algumas variáveis do ciclo hidrológico, variando em função do percentual de área impermeabilizada, conforme Figura 3.5. Por meio de sua análise, verifica-se que a água pluvial que infiltrava no solo passa

a escoar superficialmente. Além disso, pode ser observada uma redução do processo de evapotranspiração, em função da supressão da cobertura vegetal.



**Figura 3.5** – Principais efeitos da urbanização nas variáveis hidrológicas (US-EPA, 1999)

### **3.3- Impactos da Urbanização na Qualidade das Águas Escoadas**

A urbanização também pode trazer efeitos relevantes aos aspectos qualitativos das águas escoadas, levando à poluição dos meios receptores. Segundo Chocat (1997), o primeiro alerta quanto à poluição das águas pluviais escoadas foi em um Congresso em Viena sobre higiene em 1887. Entretanto, as pesquisas sobre esse tema iniciaram-se por volta de 1950 na Europa, tendo sido aprofundadas a partir da década de 1970. No Brasil, ainda hoje, esses estudos são incipientes.

#### **3.3.1- Principais fontes de poluição das águas pluviais**

A acumulação de contaminantes ou poluentes no solo ou nas superfícies das áreas urbanas ocorre durante os períodos secos e tem múltiplas origens. Esses poluentes podem ser endógenos, ou seja, provenientes da própria área de drenagem, ou exógenos, que percorrem grandes distâncias antes de se depositar em solos urbanos. Um exemplo de poluente exógeno é o chumbo, oriundo da combustão da gasolina utilizada em todo planeta, que pode ser

encontrado até nas áreas do Círculo Polar Ártico ou da Antártida. De maneira geral, as principais fontes de poluição das águas pluviais são aquelas apresentadas a seguir.

### Circulação de veículos

Os automóveis constituem uma das principais fontes diretas de um grande número de poluentes às águas de escoamento pluvial. É o caso, segundo Novotny e Chesters (1981) *apud* M. Porto (1995), das graxas e hidrocarbonetos (combustível, óleo lubrificante e fluido dos sistemas hidráulicos), cobre (mancais e freios), asbesto (embreagem e freios), cromo (galvanizados, anéis e freio), chumbo (óleo do motor e mancais), níquel (freio), zinco (óleo do motor e pneus), fósforo (aditivos para o óleo do motor) e da borracha (pneus).

Eles constituem, ainda, uma fonte indireta de poluição por erosão provocada nas vias de circulação: cimento ou asfalto dos pavimentos e os constituintes das pinturas das pistas, particularmente o chumbo.

Nos casos das regiões em que ocorrem invernos mais rigorosos, com a presença de neve, podem ser verificados outros contaminantes advindos dos produtos utilizados para viabilizar a circulação dos veículos: areia e sais utilizados para derretimento do gelo das vias (NaCl, CaCl<sub>2</sub> e KCl) que contêm, freqüentemente, aditivos diversos.

### Indústrias

A parte referente à poluição das indústrias no solo urbano é bem variável. Ela depende dos tipos de instalações e sua localização em relação à área urbana e à bacia.

Os poluentes de origem industrial são normalmente os metais (chumbo, cádmio e zinco, dentre outros), alguns resíduos de petróleo, além de numerosos micropoluentes orgânicos presentes em partículas solventes.

Da mesma forma, são múltiplos os modos de disseminação de poluentes industriais. Os principais são por meio do transporte atmosférico e são, segundo Chocat (1997), aqueles cuja redução foi mais forte nos últimos anos. Entretanto, os mais difusos e prejudiciais são aqueles contaminantes cuja poluição é devida a armazenamentos externos mal protegidos e, portanto, suscetíveis de carreamento com as precipitações.

### Dejetos de Animais

Os dejetos de animais, sejam domésticos ou aqueles que vivem nas ruas como os pássaros, constituem uma fonte de matéria orgânica e de contaminação bacteriana ou viral. Muitas doenças podem ser transmitidas por meio da contaminação das águas pluviais por dejetos de animais, podendo ser citada a leptospirose.

### Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas podem contaminar as águas escoadas de várias maneiras. A mais evidente refere-se aos rejeitos lançados diretamente nas bocas de lobo ou nas superfícies urbanas (sarjetas, calçadas, passeios, etc.). As fontes podem ser as mais variadas: despejo voluntário de lixo, lixeiras não estanques, limpezas de áreas de mercados ou feiras de rua, etc.

A natureza dos produtos também é múltipla: matéria orgânica, plásticos (sacos de plástico ou garrafas pet), metais diversos (zinco de latas ou mercúrio das pilhas, por exemplo), papéis, chicletes, etc. O carreamento desses materiais pelas águas pluviais ou mesmo a diluição de alguns deles pode levar cargas poluidoras aos cursos de água ou aos lençóis subterrâneos. Esses dejetos sólidos podem causar, ainda, prejuízos nos sistemas de drenagem como o entupimento de bocas de lobo ou das tubulações ou galerias de redes.

### Canteiros e erosão dos solos

A erosão dos solos em períodos secos, seja pela ação dos ventos ou pela ação mecânica dos pneus dos veículos, constitui uma importante fonte de matérias em suspensão. O volume desses contaminantes pode ser fortemente aumentado pela presença de canteiros de obras na região. As obras são fontes de grandes quantidades de poeira que, depositadas nos solos urbanos, são carreadas pelas águas pluviais.

Essa erosão depende, ainda, de fatores como as características do solo, do clima e da topografia, dentre outros. Essa é a forma mais visível da poluição com conseqüências como o assoreamento e a deterioração dos aspectos estéticos do corpo de água (aumento da turbidez e diminuição da transparência).

## Vegetação

A vegetação é fonte de matéria orgânica (folhas secas e pólen). Ela é, geralmente, a origem indireta dos aportes de nitrogênio e fósforo (adubo), além de produtos organoclorados e organofosforados (pesticidas e herbicidas), que não são de aporte exclusivamente urbano. Sua utilização nas cidades tem crescido bastante, devido à criação de jardins e hortas, ou mesmo nas árvores em áreas públicas.

## Poluição Atmosférica

Segundo M. Porto (1995), podem ocorrer dois tipos de poluição das águas pluviais. A primeira se refere ao carreamento de poluentes depositados sobre os telhados, ruas e demais superfícies urbanas. Essa denomina-se deposição seca e os poluentes principais são aqueles já referidos nos itens anteriores, ou seja, enxofre, metais, pesticidas, compostos orgânicos, fungos, pólen, solo, nutrientes, asfalto e compostos químicos como óxidos, nitritos, nitratos, cloretos, fluoretos e silicatos.

Há, entretanto, os poluentes que podem ser trazidos pela própria chuva, denominada deposição úmida. Normalmente, as pessoas têm a idéia incorreta acerca da pureza das águas de chuva. Essas águas promovem a remoção de diversos poluentes atmosféricos de pequenas dimensões, uma vez que apenas aqueles com diâmetros superiores a  $10\mu\text{m}$  sofrem deposição seca (M. Porto, 1995). Normalmente, os gases e partículas presentes na atmosfera dissolvem-se ou são arrastados pela água das chuvas e trazidos ao solo.

Os principais responsáveis pela poluição atmosférica são os veículos e as indústrias. No caso dos primeiros, são despejados na atmosfera gases como óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos voláteis. Quanto às indústrias, despejam material particulado e óxido de enxofre.

Ainda, segundo M. Porto (1995), em grandes cidades o total de material depositado por via seca ou úmida varia entre  $7 \text{ t/km}^2.\text{mês}$  a  $30 \text{ t/km}^2.\text{mês}$ .

Valiron e Tabucchi (1992) apresentam algumas estimativas de concentrações de alguns poluentes nas águas de chuva, mostradas na Tabela 3.7.



**Tabela 3.7 – Intervalo de variação de alguns parâmetros de poluição nas águas de chuva**

Poluente	Concentração nas águas de chuva
pH	4 a 7
DQO	20 a 30 mg/L
SO <sub>4</sub>	2 a 35 mg/L
Cu	0,5 a 2 mg/L
Na	0,5 a 2 mg/L
Zn	0,02 a 0,08 mg/L
Pb	0 a 0,15 mg/L

Fonte: Valiron e Tabucchi, 1992

De maneira geral, Chocat (1997) estima que de 15% a 25% da poluição contida nas águas do escoamento pluvial é devida à poluição atmosférica. Esse percentual pode ser superior para alguns poluentes como metais pesados.

Um dos principais problemas da poluição atmosférica refere-se às *chuvas ácidas*, que têm pH reduzido. Com gás carbônico na condição de saturação, o menor pH esperado para a água seria de 5,6. Entretanto, a presença de concentrações elevadas de óxido de enxofre e óxido de nitrogênio na atmosfera leva à sua combinação com o vapor de água e a conseqüente transformação em ácido sulfúrico e ácido nítrico. Com isso, foram verificados dois trabalhos que apresentaram resultados de monitoramento de águas de chuva com baixos valores de pH: Bennett e Linsted (1978) citados por M. Porto (1995) encontraram valores de 2,7 para o pH da chuva e Moreira-Nordemann *et al.* (1983) verificaram a variação do pH das chuvas em Cubatão, São Paulo, entre 3,7 e 4,7. Os principais problemas da chuva ácida e verificados em Cubatão tratam da possibilidade de causar mortandade de peixes e prejuízos a plantações ou à vegetação em geral.

### **3.3.2- Impactos na qualidade dos corpos de água**

Conforme apresentado anteriormente, o escoamento superficial pode trazer diversos poluentes, como matéria orgânica, tóxicos, bactérias e outros. O processo de contaminação das águas pluviais inicia-se com o arraste de poluentes atmosféricos pela chuva e, posteriormente, o escoamento superficial se responsabiliza pelo carreamento dos poluentes dispostos sobre a superfície da área urbana, com o seu lançamento final em algum corpo de água receptor.

Com isso, pode ser verificado que o lançamento das águas pluviais em corpos de água poderá levar a alterações em sua qualidade, por meio de impactos negativos diversos, com conseqüências a curto, médio e a longo prazos.

As dimensões dos impactos causados devem-se a fatores como o estado do corpo de água antes do lançamento, sua capacidade de assimilação, o volume e a distribuição das chuvas, o uso do solo na bacia, além do tipo e da quantidade dos poluentes arrastados. M. Porto (1995) divide os possíveis problemas gerados em seis categorias, a saber:

- Alterações estéticas;
- Depósitos de sedimentos;
- Depleção da concentração de oxigênio dissolvido;
- Contaminação por organismos patogênicos;
- Eutrofização;
- Danos devido à presença de tóxicos.

#### Alterações estéticas

Com a ampliação da concentração de sedimentos em suspensão causada pelo lançamento das águas pluviais em corpos de água, alguns efeitos estéticos podem ser sentidos como a redução da transparência da água, ocorrida em função do aumento da turbidez e alterações na sua cor. O lançamento de poluentes pode produzir odor, em função da decomposição de matéria orgânica ou presença de hidrocarbonetos, propiciar a formação de espuma e camadas finas de óleo ou, ainda, levar a situações como lixo flutuando na superfície.

#### Depósitos de sedimentos

Os depósitos formados pelos sedimentos carregados pelo escoamento superficial alteram o leito e as seções do corpo de água receptor, podendo levar à redução de sua capacidade de escoamento e à alteração e diminuição da população de organismos que vivem no fundo, uma vez que seus locais de reprodução e fonte de alimento são prejudicados.

Outro efeito relacionado aos sedimentos depositados refere-se à adsorção, com a aderência de metais pesados, poluentes orgânicos e nutrientes às partículas sólidas depositadas no fundo dos corpos de água.

#### Depleção da concentração de oxigênio dissolvido

O consumo de oxigênio dissolvido na água pelos organismos que realizam a decomposição de matéria orgânica pode levar a grandes reduções em seus níveis, prejudicando a vida aquática.

A ressuspensão de sedimentos no ponto de lançamento devido à erosão local pode, também, ser um fator de redução do oxigênio dissolvido na água, uma vez que depósitos de material orgânico ali presentes podem ser expostos à biodegradação.

Compostos sujeitos à oxidação, presentes nos volumes escoados pela drenagem urbana, também podem levar ao consumo de oxigênio dissolvido e à redução de seus níveis nos corpos de água receptores.

#### Contaminação por organismos patogênicos

Em função de ligações clandestinas de esgotos na rede pluvial, vazamentos de fossas sépticas ou dejetos de animais, pode-se verificar a presença de matéria fecal nas águas de drenagem urbana. Além de oferecer riscos à saúde da população em contato com essas águas, a presença de coliformes fecais nos corpos de água poderá prejudicar a sua utilização para recreação, abastecimento humano, pesca, irrigação e outros usos da água.

#### Eutrofização

A presença de fósforo e nitrogênio nas águas de escoamento pluvial proporciona nutrientes ao meio biótico, que vão levar ao aumento na população de algas e vegetais aquáticos. Esse processo é denominado eutrofização e pode ser manifestado pela redução nos níveis de oxigênio dissolvido e episódios de mortandade de peixes, além de alterações estéticas nos corpos de água.

O impacto da eutrofização pode ser considerado de longo prazo em relação a dois aspectos: o tempo que ele demora para afetar o ecossistema e o tempo necessário para sua correção. Ele pode ser associado, principalmente, a reservatórios, bacias de detenção e lagos, em função de seus tempos de residência que podem ser, às vezes, bastante elevados.

#### Danos devido à presença de tóxicos

O escoamento de águas pluviais pode conter metais pesados e pesticidas, além de outros tóxicos nocivos ao sistema aquático. A presença desses poluentes nos corpos receptores pode levar à impossibilidade de utilização de suas águas para abastecimento humano, irrigação, recreação, dessedentação de animais, dentre outros usos.

Normalmente, os impactos causados pela presença de tóxicos são de curto prazo, podendo ser verificados em função de altos índices de mortalidade de animais aquáticos logo após seu

lançamento. Além disso, podem ter também efeitos de mais longo prazo. Metais pesados podem causar a denominada bioacumulação, em que a sua concentração vai aumentando no tecido dos organismos de níveis mais elevados da cadeia alimentar. Por fim, a ingestão pelo ser humano de organismos com altos níveis de contaminação pode causar graves danos à saúde.

### **3.3.3- Níveis de impactos e de qualidade das águas do corpo receptor**

Com o lançamento das águas de escoamento urbano nos corpos de água, uma série de efeitos é produzida, podendo perturbar o ecossistema em níveis diferentes. Chocat (1997) apresenta hierarquização dos impactos relativos a esses fenômenos em três níveis, mostrados com maior detalhe na Tabela 3.8:

- Impactos físico-químicos: O primeiro nível de impactos refere-se às conseqüências diretas e imediatas do aporte de poluentes no meio receptor;
- Impactos bioquímicos: O segundo nível de impactos agrupa o conjunto de ações bioquímicas produzidas em contato com a biota: autodepuração e o consumo de oxigênio dissolvido devido à decomposição de matéria orgânica;
- Impactos biológicos: O terceiro nível de impactos é relacionado às conseqüências provocadas pelos impactos dos dois níveis precedentes.

**Tabela 3.8** – Classificação dos níveis de fenômenos de impactos, adaptado de Chocat (1997)

Nível de Impacto	Efeito de Choque	Impacto Cumulativo
<b>Impactos Físico-Químicos</b>		
Nível 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumento de sedimentos em suspensão e da concentração na água dos seguintes parâmetros:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>. Turbidez (em função dos SS);</li> <li>. Matéria orgânica e nutrientes;</li> <li>. Micropoluentes dissolvidos;</li> </ul> </li> <li>- Impacto visual: materiais flutuantes e hidrocarbonetos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assoreamento e colmatção;</li> <li>- Acumulação de matéria orgânica, nutrientes, metais pesados, hidrocarbonetos e micropoluentes nos sedimentos;</li> <li>- Ressuspensão de poluentes (cheias ou grandes eventos pluviais);</li> <li>- Evolução dos poluentes químicos mais ou menos ativos.</li> </ul>
<b>Impactos Bioquímicos</b>		
Nível 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminuição da taxa de oxigênio dissolvido:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>. Formação de películas de óleos e hidrocarbonetos;</li> <li>. Degradação da matéria orgânica;</li> </ul> </li> <li>- Transformação do nitrogênio amoniacal em amoníaco não ionizado (tóxico) quando o pH é elevado;</li> <li>- Desenvolvimento de bactérias patogênicas em pontos favoráveis do meio receptor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consumo de oxigênio dissolvido devido à degradação da matéria orgânica.</li> </ul>
<b>Impactos Biológicos</b>		
Nível 3 Sobre a flora aquática	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os aumentos da luminosidade e da turbidez em função de um evento chuvoso são responsáveis por um acréscimo na atividade fotossintética e, provavelmente, da taxa de oxigênio dissolvido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desequilíbrio do crescimento fitoplantônico: hiper eutrofização e/ou;</li> <li>- desaparecimento de certas espécies em função do aporte de nutrientes.</li> </ul>
Nível 3 Sobre a fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mortalidade da fauna aquática, notadamente piscícola, em função dos choques de poluição:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>. Por asfixia, em função da redução nas taxas de oxigênio dissolvido ou por colmatção das guelras (SS);</li> <li>. Em função da toxicidade aguda, principalmente de fontes industriais.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introdução de tóxicos adsorvidos nos sedimentos na cadeia alimentar;</li> <li>- Concentração de poluentes nos tecidos de alguns animais aquáticos;</li> <li>- Mutação das populações animais e diminuição do número das mais sensíveis.</li> </ul>

## Qualidade das Águas Pluviais

Quanto à concentração de poluentes nas águas pluviais, não há muitos estudos desenvolvidos com resultados de monitoramento. A seguir, apresentam-se os resultados mais relevantes de alguns desses estudos encontrados na literatura. Tucci e Bertoni (2003) apresentam os valores médios de concentração de contaminantes para algumas cidades. Essas informações são mostradas na Tabela 3.9.

**Tabela 3.9** – Valores médios de concentração de alguns poluentes em águas pluviais para algumas cidades (mg/L)

Poluente	Durham (1)	Cincinnati (2)	Tulsa (3)	Porto Alegre (4)	APWA (5) Min e Max
DBO <sub>5,20</sub>	-	19	11,8	31,8	1 a 700
Sólidos Totais	1.440	-	545	1.523	450 a 14.600
pH	-	7,5	7,4	7,2	-
Coliformes Fecais (NMP/100ml)	23.000	-	18.000	1,5 x 10 <sup>7</sup>	55 a 11,2x10 <sup>7</sup>
Ferro	12	-	-	30,3	-
Chumbo	0,46	-	-	0,19	-
Amônia	-	0,4	-	1,0	-

1 – Colson (1974); 2 – Weibel *et al.* (1964); 3 – AVCO (1970); 4 – Ide (1984) ; APWA - *American Public Works Association* (1969); Tucci e Bertoni (2003).

Maglionico e Pollicino (2004) realizaram estudo experimental com o objetivo de avaliar a taxa de poluentes em uma avenida de Bolonha, Itália, com grande tráfego de veículos (em média, 48.000 veículos por dia). Os resultados apresentados estimaram a taxa de poluentes em 5,7 kg/ha/dia. A pesquisa avaliou, ainda, a eficiência de remoção de material pela limpeza urbana, tendo sido estimada em 33%, em média. Os resultados da análise química das partículas coletadas são apresentados na Tabela 3.10.

**Tabela 3.10** – Análise química de algumas das amostras coletadas em avenida de Bolonha

Poluente	Mn	As	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	V	Zn
Concentração (mg/kg)	1,940	8,950	739,0	1,465	279,0	0,1286	132,2	1077,5	714,0	82	913,5

Fonte: Maglionico e Pollicino (2004)

Chebbio *et al.* (1995) apresentam a variabilidade de cargas anuais de poluição produzida em relação à área impermeável, ao número de habitantes na área de drenagem e à altura de precipitação. Os resultados foram obtidos a partir de monitoramentos mínimos de um ano em várias localidades na França com tipologia predominantemente residencial e são apresentados na Tabela 3.11. Por meio da análise dos resultados apresentados, em função da grande amplitude de valores encontrados, não foram verificadas grandes diferenças nas concentrações para os parâmetros DQO e sólidos em suspensão de águas pluviais advindas de

sistemas separadores com ou sem ligações clandestinas de efluentes domésticos. No entanto, com relação ao parâmetro DBO<sub>5</sub>, podem ser verificadas diferenças maiores nas concentrações observadas para os diversos casos.

**Tabela 3.11** – Variação de massas anuais e específicas. Adaptado de Chebbo *et al.* (1995)

Poluente	Unidade	Sistema Separador sem ligações clandestinas*	Sistema separador com ligações clandestinas*	Sistema Unitário
Matérias em suspensão	kg/ha impermeável	1000 a 7400	1700 a 6700	1200 a 4400
	kg/hab	4 a 8,6	2,4 a 13,5	5,2
	kg/mm	18 a 227	63 a 580	64 a 17.600
DQO	kg/ha impermeável	667 a 5200	1160 a 7400	1050 a 4200
	kg/hab	2,8 a 14	1,3 a 8,1	2,9
	kg/mm	8,3 a 68	30 a 610	36 a 21.000
DBO <sub>5</sub>	kg/ha impermeável	100 a 520	240 a 1400	780 a 1500
	kg/hab	0,56 a 1,4	0,25 a 2,38	1,3
	kg/mm	1,2 a 29	5,7 a 270	8,8 a 9.400

\* Valores referem-se à rede de águas pluviais

Chocat (1997) apresenta os valores médios e as variações de cargas anuais de lançamento de sistemas unitários e separadores. Essas informações são mostradas na Tabela 3.12. Assim, como para o estudo apresentado (Chebbo *et al.*, 1995), não são verificadas diferenças para os parâmetros matérias em suspensão e DQO, mas sim para o DBO<sub>5</sub>.

**Tabela 3.12** – Valores médios de cargas anuais lançadas (kg/ha impermeável) a jusante de bacias com sistemas de coletores unitários ou separadores. Chocat (1997)

Poluente	Coletores Unitários	Coletores Pluviais
Sólidos em Suspensão (SS)	1000 a 2000	1000 a 2000
DQO	1000 a 2000	1000 a 2000
DBO <sub>5</sub>	800 a 1500	100 a 500
Hidrocarbonetos	5 a 80	4 a 35
Chumbo	0,7 a 2,2	0,6 a 1,8

A seguir, são apresentados os parâmetros médios e medianas de concentração de poluentes nas águas de escoamento pluvial urbano nos Estados Unidos, Suíça e França, conforme tabelas 3.13 a 3.15.

**Tabela 3.13 – Concentração de poluentes no escoamento pluvial nos Estados Unidos (US-EPA, 1999)**

Área/ Poluente	Área Residencial		Área Comercial		Área Mista	
	Mediana	CV (*)	Mediana	CV (*)	Mediana	CV (*)
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	10	41%	9,3	31%	7,8	52%
DQO (mg/L)	73	55%	57	39%	65	58%
SS (mg/L)	101	96%	69	85%	67	114%
Pb (mg/L)	144	75%	104	68%	114	135%
Cu (µg/L)	33	99%	29	81%	27	132%
Zn (µg/L)	135	84%	226	107%	154	78%
NTK (mg/L)	1,90	73%	1,18	43%	1,29	50%
Nitrato + Nitrito (µg/L)	736	83%	572	48%	558	67%
Ptotal (mg/L)	0,38	69%	0,20	67%	0,26	75%

(\*) CV = Coeficiente de Variação

**Tabela 3.14 – Concentração de poluentes nas águas de escoamento pluvial na Suíça (Rossi, 1998)**

Área/ Poluente	Área residencial		Área comercial		Área industrial	
	Média	CV (*)	Média	CV (*)	Média	CV (*)
SS (mg/L)	109,2	147%	64,09	52%	100,1	72%
Ptotal (mg/L)	0,66	79%	0,67	54%	0,93	83%
DQO (mg/L)	103,9	96%	57,74	61%	117	105%
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	17,58	179%	6,50	92%	23,64	86%
COT (mg/L)	19,42	148%	6,71	56%	15,09	80%
Cu (µg/L)	144,6	103%	62,81	74%	117,2	105%
Zn (µg/L)	235,2	69%	310,3	55%	597	115%
Pb (µg/L)	52,25	89%	38,70	51%	185	222%
Cd (µg/L)	1,35	65%	2,81	151%	3,70	137%
Cr (µg/L)	17,68	171%	10,77	41%	10,36	100%
HC totais (mg/L)	0,02	150%	0,02	200%	0,03	167%

(\*) CV = Coeficiente de Variação

**Tabela 3.15 – Concentração de poluentes nas águas de escoamento pluvial na França**

Área/ Poluente	Área residencial <sup>1</sup>		Área industrial <sup>2</sup>		Rodovias <sup>3</sup>	
	Média	CV (*)	Média	CV (*)	Média	CV (*)
SS (mg/L)	315,1	120%	73	56%	40,59	114%
DQO (mg/L)	213,9	104%	64,33	61%	149	88%
Cu (µg/L)	18,37	63%	21,86	70%	51,82	67%
Zn (µg/L)	110,7	223%	306	59%	264	65%
Pb (µg/L)	179,7	110%	34,8	93%	35,06	82%
Cd (µg/L)	11,32	93%	-	-	0,76	83%
HC totais (mg/L)	5,60	147%	-	-	1,03	50%

(\*) CV = Coeficiente de Variação

<sup>1</sup>Saget (1994), <sup>2</sup>Gautier (1998), <sup>3</sup>Pagotto (1999)

A análise das informações contidas nas tabelas 3.13 a 3.15 mostra grandes desvios padrão para os diferentes parâmetros monitorados, indicando a significativa variação desses valores ao longo do tempo e espaço, no mesmo País. Além disso, pode ser observada, ainda, variação importante entre diferentes eventos de chuva, tipologias de ocupação e entre os países apresentados.



No que se refere às características gerais da poluição urbana de origem pluvial, Baptista *et al.* (2005a) sintetizam afirmando que:

- As cargas médias anuais provenientes de sistemas de esgotamento sanitário são, em geral, superiores às de origem pluvial para sólidos totais, DBO<sub>5</sub>, DQO e NTK;
- As cargas de origem pluvial são superiores às de esgotamento sanitário em escala horária de tempo, notadamente quanto aos metais pesados e sólidos totais.

### **3.4- Histórico das Tecnologias de Drenagem Urbana**

As cidades e os cursos de água sempre tiveram uma ligação muito importante ao longo da história da humanidade. Desde as primeiras aglomerações, pôde ser verificada a localização das cidades preferencialmente junto aos cursos de água. Isso ocorreu, segundo Baptista e Nascimento (2002), devido ao fato de que a proximidade da água favorecia o suprimento para consumo e higiene das populações, bem como a evacuação dos dejetos e o transporte por meio da navegação. Essa proximidade era considerada, ainda, como um importante fator de produção para atividades agrícolas ou artesanais, favorecendo as comunicações, o comércio e o transporte. No entanto, apesar dos grandes benefícios, os excessos de vazões, provocando grandes inundações, eram bastante freqüentes e levavam a grandes perdas em vários setores das comunidades.

Conforme Baptista *et al.* (2005a), nas Idades Antiga e Média, a implantação das cidades ao longo dos cursos de água desempenhava também um importante papel militar, favorecendo a defesa do meio urbano. As cidades eram implantadas, principalmente, em ilhas (Paris) ou em elevações junto a meandros ou penínsulas (Lyon).

Ao longo do tempo, na Europa, a ocupação das terras em áreas urbanas se tornou socialmente estratificada, com as populações menos favorecidas ocupando as áreas mais baixas e, portanto, sujeitas aos efeitos das freqüentes inundações. Baptista *et al.* (2005a) ressaltam que, durante a Idade Média, na Europa, não foram implantados novos sistemas de evacuação e não houve manutenção dos sistemas antigos, construídos pelos romanos, que acabaram por cair em desuso. Esse fato levou a condições de vida bastante insalubres nas cidades, com a presença constante de lama e esgotos junto ao sistema viário.

Tudo isso acarretou, posteriormente, grandes problemas como as epidemias de cólera e tifo, que assolaram a Europa no século XIX. Nesse momento, surgiram, então, os princípios do higienismo que preconizavam, conforme Baptista *et al.* (2005a), a condução das águas

pluviais através de condutos por gravidade, com o objetivo de permitir a circulação viária e o desenvolvimento urbano. Bertrand-Krajewski (2000) compara os sistemas urbanos de água propostos nesse período à circulação sanguínea, por meio da associação do sistema arterial ao abastecimento de água e do sistema venoso à evacuação das águas residuais.

Todos esses problemas foram ampliados devido à coincidência com uma das mais significativas manifestações humanas do século XIX nos países industrializados: a urbanização. Esse movimento iniciou-se com a primeira revolução industrial e a descoberta de problemas epidemiológicos gerados pela grande concentração de indivíduos nas cidades.

Isso levou, segundo Chocat (1997), aos primeiros estudos em hidrologia urbana, com a determinação das bases do ciclo hidrológico em meio urbano pelos primeiros cientistas na área, sendo eles: Kuilching (1889) nos Estados Unidos, Burkli-Ziegler (1880) na Suíça, Lloyd-Davis (1906) no Reino Unido e Belgrand (1857, 1887) na França. Suas análises foram, no entanto, freqüentemente transformadas em regras simples de engenharia, mascarando totalmente a complexidade dos mecanismos hidrológicos urbanos.

Alguns anos depois, no final da primeira metade do século XX, os engenheiros começaram a se preocupar mais em estudar esses assuntos, enfocando seu trabalho na produção de guias e normas técnicas, algumas com grande reconhecimento internacional, como é o caso de Metcalf e Eddy, nos Estados Unidos, e Karl Imhoff, na Alemanha.

No final da década de 1950, a revolução dos modos de produção agrícola e o crescimento da produção industrial levaram a uma explosão demográfica urbana nos países industrializados. A urgência na ação de construir acarretou uma redução nas reflexões sobre as conseqüências da urbanização no ciclo da água. No final dos anos 1960, as conseqüências desse fato vão aparecer com inundações freqüentes, mau funcionamento dos sistemas coletores e poluição grave dos meios receptores, dando origem à nova hidrologia urbana.

Além disso, nos últimos anos, o crescente foco da mídia em relação a questões ambientais tem levado à conscientização da população em busca de discussões e soluções para esses problemas, o que reflete em uma grande demanda pela valorização da paisagem urbana e da melhoria da qualidade de água.

Sendo assim, devido aos vários fatores já assinalados, como o aumento dos processos de urbanização, avançando sobre os leitos maiores dos cursos de água, seus efeitos sobre os sistemas de drenagem, intervenções equivocadas sobre a rede de drenagem natural e as novas

discussões em relação às questões ambientais, os estudos referentes aos problemas da drenagem urbana ganharam maior relevância. Nesse sentido, têm sido desenvolvidas novas tecnologias de drenagem urbana, levando em consideração questionamentos relativos às ligações entre os aspectos ambientais e a sociedade em geral.

Nos próximos itens, serão apresentadas as principais técnicas de drenagem urbana, desde os sistemas clássicos àqueles compensatórios ou alternativos. Para cada um dos sistemas de drenagem, é realizada a sua caracterização geral, além da apresentação dos principais efeitos possíveis quanto a alterações de regime, quantidade e qualidade das águas de escoamento pluvial e de infiltração. Parte das informações apresentadas referentes à caracterização das principais técnicas de drenagem urbana é advinda de Castro (2002).

### **3.5- Sistemas Clássicos e Compensatórios**

#### **3.5.1- Sistemas clássicos**

O princípio básico dos sistemas clássicos de drenagem urbana é a captação e condução das águas pluviais em condutos artificiais, preferencialmente subterrâneos, sendo esse escoamento realizado por gravidade.

Esses sistemas constituem-se, basicamente, de dispositivos de captação das águas pluviais, estruturas de condução dessas águas na forma de canais abertos ou condutos enterrados e, em alguns casos, de obras complementares como bueiros e dissipadores de energia.

Apesar desses sistemas serem utilizados há algum tempo baseados no princípio do higienismo já definido anteriormente, Baptista *et al.* (2005a) mostram que a intensificação dos processos de urbanização evidenciou diversos de seus limites em relação à sua real eficácia:

- Com o escoamento rápido das águas pluviais referentes às áreas urbanizadas, o problema de inundação é transferido para jusante. As novas áreas urbanizadas tendem a provocar inundações nas áreas de jusante;
- Esse efeito leva à construção de novas obras de drenagem a jusante, com o aumento da seção transversal de canais naturais ou a substituição de condutos antigos por novos, de maiores dimensões. Essas obras são de custo bastante elevado;
- Com a canalização dos cursos de água, a população recebe uma falsa idéia de segurança em relação aos problemas de inundações, tendendo a ocupar as áreas ribeirinhas. Sendo assim, essas áreas são ocupadas, por falta de opções, pelas populações de baixa renda, o

que leva, muitas vezes, a perdas de vidas humanas e prejuízos econômicos consideráveis devidos aos eventos freqüentes de inundações;

- Na maioria das vezes, as soluções clássicas não levam em consideração problemas existentes de qualidade da água. Esses problemas podem acarretar crises no funcionamento do sistema de drenagem, devido à deposição de sedimentos advindos de processos erosivos intensificados pela urbanização e por deficiências no sistema de limpeza urbana.

Sendo assim, em síntese, os sistemas clássicos de drenagem urbana têm o princípio básico de conduzir as águas de escoamento pluvial para jusante da área urbanizada, com o seu lançamento em algum corpo de água. Nesse sentido, são ampliados os efeitos causados pela urbanização no aumento das vazões de pico e nas concentrações dos poluentes lançados nos corpos de água.

### **3.5.2- Sistemas compensatórios ou alternativos**

A partir da descoberta das diversas limitações dos sistemas clássicos, demonstrando características de não-sustentabilidade, uma vez que são limitados os usos presentes e futuros da água em meio urbano de forma quase sempre irreversível, o meio técnico vem direcionando suas pesquisas em drenagem urbana para o desenvolvimento de técnicas alternativas às soluções clássicas. Essas novas técnicas podem ser chamadas, ainda, de compensatórias, uma vez que buscam neutralizar os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, beneficiando a qualidade de vida e a preservação ambiental. Diversos estudos têm sido desenvolvidos, principalmente na América do Norte e na Europa, apresentando grande variedade e amplitude de soluções, podendo ser citados alguns: na Europa, Azzout *et al.* (1994), Butler e Davies (2000), Daywater (2003), Dechesne (2002), STU (1991) e STU e Agences de l'Eau (1994); nos Estados Unidos, Urbonas e Stahre (1993) e US-EPA (1999); no Canadá, Wisner (1984); e no Brasil, Baptista *et al.* (2005a), Souza (2002), Araújo *et al.* (2000) e Milograna (2001).

As novas tecnologias podem ser consideradas como alternativas em relação às outras, por considerarem os impactos da urbanização de forma global. Além disso, essas novas tecnologias permitem a continuidade do desenvolvimento urbano sem gerar custos excessivos e proporem o tratamento conjunto das questões de drenagem pluvial em meio urbano com outras questões urbanísticas. Tudo isso leva a uma grande contribuição para a melhoria das condições de vida e preservação do meio ambiente, com a redução dos impactos da poluição de origem pluvial.

Essas novas tecnologias, alternativas aos sistemas convencionais de drenagem urbana, baseiam-se, principalmente, na retenção e na infiltração das águas precipitadas, visando, assim, à diminuição do volume escoado e ao rearranjo temporal das vazões e, conseqüentemente, reduzindo as probabilidades de inundações. Essas tecnologias podem assumir múltiplas formas como trincheiras, fossas, valas, pavimentos dotados de estruturas de reservação, poços, telhados armazenadores, bacias de retenção secas ou com água *etc.* Além disso, elas podem ser utilizadas em diferentes escalas, desde pequenas parcelas até o projeto de sistemas de drenagem para cidades inteiras, além de poderem ser facilmente integradas ao meio ambiente, permitindo usos diversos pela população, como áreas de estacionamento, áreas para a prática de esportes, áreas de parques ou de lazer inundáveis.

Baptista *et al.* (2005a) classificam essas técnicas em três tipos distintos, segundo a forma de controle de vazões:

- Técnicas para controle na fonte, propriedade ou parcela: poços de infiltração ou telhados armazenadores;
- Técnicas para controle nos sistemas viário e de drenagem: pavimentos porosos, valas, valetas ou áreas de armazenamento em pátios ou estacionamentos;
- Técnicas para controle centralizado: bacias de retenção ou infiltração.

A seguir, nos próximos itens, as principais técnicas já estudadas são descritas de forma sucinta, mostrando seus princípios básicos, vantagens e inconvenientes, além de seus usos principais e algumas pesquisas realizadas sobre seu funcionamento.

### Bacias de retenção

As bacias de retenção são obras hidráulicas de drenagem urbana com a finalidade de reservar temporariamente e/ou infiltrar as águas pluviais, determinando o rearranjo temporal e/ou a redução das vazões escoadas. De acordo com a sua forma de trabalho, as bacias de retenção podem ser divididas em:

- Bacias de retenção, quando a finalidade única é a de estocar temporariamente as 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;

- Bacias de retenção e infiltração, unindo as características das duas primeiras, infiltrando parte das águas pluviais, de forma a reduzir os volumes escoados a jusante e proporcionando, ainda, o rearranjo temporal das vazões.

Elas podem ser classificadas, ainda, segundo a sua aparência: bacias a céu aberto e bacias enterradas. STU e Agences de l'Eau (1994) dividem as bacias a céu aberto em:

- Bacias com água, denominadas de retenção, quando são preenchidas com água permanentemente. Esse tipo de bacia deve ter uma profundidade suficiente para evitar a sua ocupação por plantas aquáticas a partir do fundo. Além disso, é importante que seja garantida a sua alimentação durante os períodos secos, que geralmente é feita pelas águas do lençol freático;
- Bacias secas, consideradas de detenção, que, como o próprio nome indica, possuem água apenas durante os períodos chuvosos, estando secas na maior parte do tempo;
- Bacias em zona úmida, utilizando áreas não ocupadas, naturalmente inundáveis.

As bacias enterradas não ocupam áreas de superfície, não competindo por espaço com outros equipamentos urbanos. Entretanto, necessitam de grandes trabalhos de engenharia civil e, sendo construídas a profundidades às vezes consideráveis, necessitam sistemas de bombeamento para o seu esvaziamento.

As bacias de detenção, pelo porte e atividades desempenhadas, podem causar efeitos importantes em relação às alterações de regime, quantidade e qualidade das águas de escoamento pluvial urbano.

No que se refere a alterações de regime hidrológico, a construção de bacias de detenção permite que as vazões restituídas possam se aproximar daquelas observadas para a bacia em seu estado "natural". Para isso, são possíveis três arranjos a serem estudados para a implementação em cada caso específico, a saber:

- Implantação de uma grande bacia a jusante da área urbanizada;
- Implantação de algumas pequenas bacias, em série ou em paralelo, nas áreas públicas;
- Implantação de diversas pequenas bacias em nível de parcela, dispostas em paralelo.

Quanto a possíveis alterações na quantidade das águas escoadas, depende da forma de trabalho prevista para as bacias escolhidas para implementação. No caso de bacias de

infiltração, é prevista a infiltração de todas as águas afluentes e o escoamento nulo a jusante. Para bacias com a função única de retenção, o projeto prevê apenas o rearranjo temporal das vazões escoadas a jusante, mantendo-se o volume total escoado constante.

No entanto, conforme apresentado anteriormente, em alguns casos, pode ser prevista a atuação conjunta em uma mesma bacia de sistemas de infiltração e retenção, o que leva à redução das vazões escoadas a jusante, com seus volumes podendo chegar a valores inferiores àqueles observados para a bacia em sua situação natural.

A água de chuva, ao escoar sobre as superfícies urbanas, tem a função de “lavá-las”, carreando para jusante os poluentes gerados pelas atividades desenvolvidas na área. Sendo assim, a água que irá atingir a bacia poderá ter concentrações significativas de diversos poluentes como sedimentos, sais dissolvidos, pesticidas, óleos *etc.* A implantação de uma bacia determinará alguns impactos positivos em relação à qualidade das águas escoadas a jusante (STU e Agences de l’Eau, 1994). No caso de bacias com água, os principais impactos positivos são:

- Diluição da poluição;
- Sedimentação de partículas sólidas em suspensão;
- Oxigenação da água, em contato com a atmosfera;
- Decomposição de matéria orgânica, sob a ação de bactérias aeróbias;
- Assimilação de elementos eutrofizantes pelos vegetais. Esses elementos são nutrientes a partir dos quais será fabricada sua própria matéria orgânica, utilizando energia solar (fotossíntese).

Em relação às bacias secas, podem ser observados alguns impactos positivos, a saber:

- O choque no curso de água receptor é evitado, com a restituição lenta das águas a jusante;
- As matérias em suspensão sedimentam-se, devendo, no entanto, ser retiradas pela manutenção logo após o período chuvoso.

As bacias enterradas também possuem um impacto positivo quanto à qualidade, uma vez que permitem a decantação da água.

No entanto, as bacias podem apresentar alguns inconvenientes, podendo ser ressaltados a necessidade de grandes áreas para a sua implantação e o risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas por eles na área próxima da bacia.

A seguir, são citados alguns estudos e pesquisas realizados com relação a bacias de retenção e seu funcionamento quanto às alterações de regime, quantidade e qualidade das águas.

Resultados gerais de estudos com eficiências médias de remoção de poluentes são apresentados na Tabela 3.16. Cabe informar que essas eficiências estão apresentadas por evento, para bacias de retenção secas e estanques, sem infiltração.

**Tabela 3.16 – Eficiências médias relativas observadas sobre bacias secas**

Parâmetro	Béquigneaux <sup>1</sup>		Charbonnier <sup>2</sup>		Bourghail <sup>3</sup>		Oxted <sup>4</sup>	US-EPA <sup>5</sup>
	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$	Média	$\sigma$	Média	Média
SS	86%	6%	58%	21%	42%*	15%	-	50-80%
DQO	81%	8%	30%	23%	28%*	8%	-	-
DBO <sub>5</sub>	80%	6%	-	-	39%	13%	-	-
NTK	62%	14%	-	-	-	-	-	30-65%
HC Totais	69%	30%	76%	27%	-	-	-	-
Pb	78%	10%	50%	24%	30%	0%	89%	50-80%
Zn	85%	1%	19%	41%	25%	12%	84%	50-80%
Cu	-	-	31%	18%	-	-	88%	50-80%
Cd	85%	1%	-	-	-	-	95%	50-80%

<sup>1</sup>Chebbo (1992) e Bachoc (1992), <sup>2</sup>Bardin (1999), <sup>3</sup>Jacopin (1999) e <sup>4</sup>Hares e Ward (1999), citados por Baptista *et al.* (2005a), <sup>5</sup>US-EPA (1999).

HC Totais = Hidrocarbonetos Totais

\*indicação de eficiências negativas medidas para alguns eventos, mas não consideradas na estimativa da média

Quanto às informações apresentadas na Tabela 3.16, Baptista *et al.* (2005a) afirmam que as baixas eficiências observadas nas bacias de Charbonnier e Bourghail ocorrem em função dos tempos de concentração relativamente pequenos em razão da presença de calhas no fundo, entre a entrada e a saída, o que facilita escoamentos rápidos e concentrados (“*by pass*”) e zonas de turbulências importantes. Pelo contrário, explica que os bons resultados da bacia de Béquigneaux podem ser considerados “otimistas” uma vez que se devem ao fato das medidas terem sido efetuadas com a saída provisoriamente fechada, o que gerou condições favoráveis à sedimentação.

No caso de sistemas de infiltração, US-EPA (1999) consideram como 100% de remoção de poluentes na fração de água infiltrada, uma vez as águas são filtradas pelo solo e não são lançadas diretamente nos cursos superficiais. Nesse caso, essa referência recomenda a



quantificação da eficiência de remoção proporcionada por técnicas como bacias de infiltração, por meio do cálculo do percentual do volume médio anual de escoamento que é infiltrado, assumindo 100% de remoção dos poluentes presentes nessas águas.

Dechesne *et al.* (2004a) e Dechesne (2002) apresentaram pesquisa sobre a distribuição espacial e as profundidades atingidas pela poluição em uma bacia para infiltração de águas de um estacionamento de caminhões em Lyon, na França, com 14 anos de operação. O monitoramento realizado foi em 10 pontos e em 4 profundidades (superfície, 30-40cm, 60-70cm e 100-110cm) da bacia, para pH, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, fósforo total, metais pesados (cádmio, cromo, cobre, zinco, chumbo e mercúrio) e hidrocarbonetos. No que se refere à profundidade, os resultados da pesquisa mostraram distribuição homogênea entre as amostras, em que as concentrações de poluentes decrescem rapidamente da superfície até 30cm enquanto foi observado aumento do pH. Apenas para o zinco foi verificada maior mobilidade, atingindo profundidades entre 60 e 70cm. Abaixo dessas profundidades, as concentrações verificadas foram semelhantes às de um solo em situação natural próximo da bacia de infiltração. Tratando da distribuição espacial, foi aplicada para calcular a massa de poluição retida pela bacia. Uma vez que 10 pontos é um número elevado para monitoramento de bacias de infiltração, foi verificado que 3 pontos (o ponto de entrada da água, o ponto mais baixo da bacia e um no meio) podem ser considerados um bom compromisso entre a precisão na estimativa e a redução do número de amostras, com 26% de erro.

Dechesne (2002) monitorou, ainda, a qualidade das águas subterrâneas inferiores a três outras bacias de infiltração de águas residenciais e comerciais em Lyon. Com base em seus outros resultados obtidos e apresentados no parágrafo anterior, as outras bacias foram monitoradas em três pontos e em três profundidades distintas. Em função da existência de um geotêxtil a profundidades variáveis entre 30 e 50cm, as medidas foram realizadas na superfície, 5cm acima, 5cm abaixo do geotêxtil e, em uma delas, a 90cm de profundidade. Os resultados obtidos mostraram que, em duas das bacias, foi verificada forte poluição na superfície, mas abaixo de 30cm de profundidade (40cm no ponto de entrada da água) os poluentes atingem concentrações aceitáveis. Apenas no caso do zinco, a poluição atinge a profundidade de 60cm. Na terceira bacia, a mais antiga entre elas, com 20 anos de operação, foi verificada poluição apenas no ponto próximo da entrada da água, mas atingindo as profundidades de 90cm no caso do zinco, chumbo e cobre.

Milograna (2001) comparou a retenção de águas pluviais em lotes e em áreas públicas como alternativas de drenagem, em um estudo de caso na cidade de Goiânia, para a redução das vazões de pico escoadas a jusante de determinados bairros já urbanizados. Seus resultados mostraram ser a rede de drenagem pluvial instalada insuficiente para escoar as vazões de cheias provenientes da ocupação futura da área. Além disso, foi verificado que as medidas de controle visando a retenção em lotes ou áreas públicas foram eficientes para redução do pico dos hidrogramas de cheia para a região para valores inferiores às obtidas em um cenário de pré-urbanização.

Tucci (2000) apresentou metodologia para a estimativa dos volumes necessários de reservação em lotes, para amortecimento de cheias, de forma a reduzir as vazões de pico para níveis anteriores à ocupação da área. Em seu trabalho, são apresentados os resultados da aplicação da metodologia para 22 cidades brasileiras para lotes de 300m<sup>2</sup>, 400m<sup>2</sup>, 500m<sup>2</sup> e 600m<sup>2</sup> de área e chuvas de tempos de retorno de 2 e 5 anos.

Rathnam *et al.* (2004) apresentaram uma metodologia, por meio de programação dinâmica, para a otimização do dimensionamento de bacias de detenção com a finalidade de cumprir restrições de vazões e padrões de qualidade das águas escoadas a jusante. A metodologia proposta foi aplicada em um estudo de caso para uma área urbanizada da cidade de Hyderabad, no sul da Índia.

Milano *et al.* (2004) utilizaram dados de monitoramento da bacia experimental de Picchianti, localizada em Livorno, Itália, para a apresentação de metodologia para estimativa da eficiência de bacias de retenção. A bacia em questão possui área de drenagem de 43ha, sendo 30% impermeável, de ocupação comercial ou de indústrias leves. As simulações realizadas utilizaram informações de precipitação, vazão e concentração de poluentes de uma série de 25 anos para a determinação dos volumes de acumulação necessários, em m<sup>3</sup>/ha<sub>imp</sub>, para a redução de vazões e volumes escoados a jusante e remoção de diferentes percentuais de sólidos em suspensão e DQO por ano e por evento crítico. Suas principais conclusões foram que os volumes necessários para altos níveis de remoção desses poluentes eram tão grandes, que correspondiam a custos altos e necessidade de ocupação de grandes áreas, o que se torna limitante em perímetros urbanos. Quanto maiores os percentuais de remoção, as melhorias em desempenho são menores em relação aos aumentos de custo e área necessária, sendo importante, então, identificar o porte economicamente viável e, ao mesmo tempo, que atenda aos requisitos legais em termos de limites de vazões e de concentração de poluentes a jusante.

Em relação a sistemas prevendo infiltração, foi verificado o estudo de Barraud *et al.* (2004), que caracterizaram a poluição do solo em quatro bacias de infiltração na região de Lyon, da França. Os resultados de sua pesquisa demonstraram que as concentrações de poluentes no solo decrescem rapidamente com a profundidade, alcançando valores aceitáveis a 50cm, mesmo em uma bacia com 21 anos de operação. Os principais parâmetros analisados foram cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo, zinco e carbono orgânico total. Por fim, a conclusão de sua pesquisa comprova a eficiência do solo como meio filtrante de poluentes presentes nas águas de escoamento pluvial.

Malard *et al.* (2004) utilizaram um sistema composto de piezômetros e sondas para monitoramento da qualidade das águas abaixo das bacias de infiltração. O monitoramento foi realizado em duas bacias na região de Lyon, França, com diferentes características. A primeira, em operação há 30 anos, drena uma área de 2,5ha no campus de uma universidade e tem nível saturado do aquífero a uma profundidade mínima de 3,0m. A segunda, operando há 20 anos, drena uma área de 180ha, com atividade industrial, tendo nível saturado do aquífero a 15m de profundidade. Os principais parâmetros analisados foram: condutância específica, temperatura, oxigênio dissolvido, pH, alguns metais pesados e hidrocarbonetos. Seus resultados quase não detectaram metais pesados (cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco) e hidrocarbonetos nas águas infiltradas, indicando sua adsorção nos sedimentos das primeiras camadas de solo. Quanto aos outros parâmetros, foi verificado que a pluma de influência não atingiu profundidade superior a 3,0m e desaparece no prazo máximo de 7 dias após o término das chuvas.

Nightingale (1987) analisou a qualidade das águas percoladas no solo que atingem os lençóis subterrâneos inferiores a cinco bacias de retenção e infiltração na Califórnia, Estados Unidos. Suas análises foram realizadas por um período de três anos e compreenderam parâmetros químicos orgânicos e inorgânicos, considerando os principais metais presentes nas águas de escoamento pluvial. As cinco bacias tinham tempos de operação variáveis entre 2 e 20 anos e recebiam águas advindas da drenagem de áreas majoritariamente residenciais e comerciais, variando entre 160ha e 940ha. Os resultados apresentados em seu estudo não mostraram contaminação nos solos inferiores às áreas de infiltração ou nos aquíferos subterrâneos.

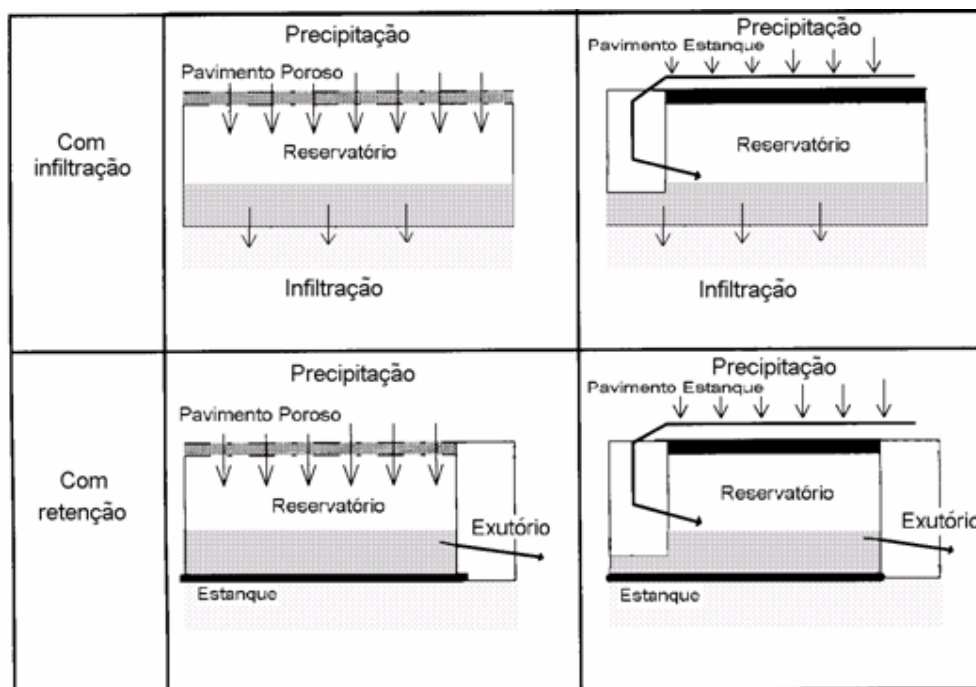
#### Pavimentos com estruturas de reservação

A técnica de pavimentos com estruturas de reservação tem funcionamento da seguinte forma: a água de chuva é injetada diretamente pela superfície do pavimento (no caso de pavimentos porosos) ou através de drenos ou bocas de lobo (no caso de pavimentos impermeáveis ou

estanques), que a levarão para o reservatório subterrâneo. Essa água é, então, armazenada nos vazios da estrutura do pavimento, por um período de tempo. Logo após, é então evacuada através da infiltração no solo e/ou de um sistema de redes de drenagem.

Os pavimentos utilizados nesse tipo de estrutura podem ser porosos ou impermeáveis, determinando pequenas diferenças no modo de recolhimento das águas. No caso dos pavimentos porosos, as águas infiltram pelos seus poros diretamente para o reservatório subterrâneo. Quanto aos pavimentos impermeáveis, as águas escoam para o reservatório por meio de drenos e bocas de lobo.

A Figura 3.6 mostra um esquema com as possibilidades de arranjos para os pavimentos dotados de estruturas de reservação.



**Figura 3.6** – Esquema com as possibilidades de arranjos para os pavimentos com estruturas de reservação (Azzout *et al.* 1994)

No que se refere às alterações de regime, quantidade e qualidade das águas a serem lançadas em um corpo de água em função da implantação dessa técnica de drenagem urbana, podem ser semelhantes às possibilidades relacionadas à técnica de bacias de detenção.

As alterações de regime possíveis de serem realizadas com a utilização dessa técnica podem levar ao rearranjo temporal de vazões e, conseqüentemente, a vazões escoadas a jusante da bacia equivalentes àquelas observadas caso estivesse em sua situação natural. Sendo assim,

podem ser reduzidas, por meio do armazenamento temporário, as vazões de pico influenciadas pelo processo de urbanização.

Quanto aos aspectos quantitativos, depende da previsão de infiltração das águas no solo após o seu armazenamento. Caso haja a sua previsão, os volumes escoados a jusante são reduzidos, podendo chegar a vazões nulas a jusante.

A qualidade das águas escoadas a jusante pode ser melhorada com a implantação dessa técnica. Quando utilizada com a previsão de pavimentos porosos, esses proporcionam a filtração das águas pluviais, com a conseqüente remoção de poluentes.

No caso dos pavimentos porosos, é importante seu papel positivo de proporcionar a filtração de poluentes, a redução dos níveis sonoros e a melhora na aderência de pneus durante eventos de chuva.

De forma geral, os pavimentos porosos podem apresentar um inconveniente relevante, que trata da necessidade de manutenção regular em função da possibilidade de colmatação dos sistemas de infiltração.

Vale ressaltar, além disso, o risco de poluição do aquífero, nos casos onde ocorre a infiltração das águas e que os lençóis estão a reduzida profundidade. Segundo Azzout *et al.* (1994), estudos na França demonstraram que a utilização da técnica de infiltração, em conjunto com o pavimento com estrutura de armazenamento, tem baixa probabilidade de poluir o lençol subterrâneo. No entanto, para reduzir ainda mais esse risco, podem ser instalados dispositivos próprios para depuração das águas, além de manter a profundidade mínima de 1,0m entre a base da estrutura e o nível mais alto do lençol subterrâneo.

Os pavimentos com estruturas de reservação podem ser utilizados em diferentes espaços urbanos como: estacionamentos, praças, ruas, vias de pedestres, passeios, áreas de esportes *etc.* Em áreas urbanas, essas superfícies podem representar espaços consideráveis, citando o trabalho de Raimbault *et al.* (1985), que apresenta áreas densamente urbanizadas em que a superfície de vias urbanas e áreas de estacionamento pode corresponder a cerca de 15 a 30% da área da bacia. Esses percentuais demonstram a importância de serem estudadas e desenvolvidas técnicas para essas áreas.

Dentre os estudos realizados sobre os pavimentos porosos, pode ser verificado o de Araújo *et al.* (2000). Em seu trabalho, foi realizado estudo experimental simulando uma determinada

chuva de projeto em cinco tipos diferentes de superfícies (solo compactado, pavimento impermeável de concreto, pavimentos semi-permeáveis de blocos de concreto e de paralelepípedos e pavimento permeável com blocos de concreto vazados) com área fixa de 1,0m<sup>2</sup>. A chuva de projeto simulada foi com intensidade de 111,9mm/h, com duração de 5 minutos, tendo o período de retorno de 5 anos para a cidade de Porto Alegre. Os resultados apresentados em seu trabalho mostraram coeficientes de escoamento variando de 0,03 para o pavimento permeável de blocos vazados até 0,95 no pavimento impermeável de concreto, passando pelos paralelepípedos (0,60), pelo solo compactado (0,66) e pelos blocos de concreto (0,78). Nesse caso, considerando-se o solo compactado como a situação original, podem ser verificados aumentos de até 44% nas vazões escoadas para o pavimento impermeável e redução de 95% no caso de blocos vazados.

Silva (2006) avaliou a eficiência de diferentes tipos de superfícies permeáveis com o objetivo de controle da geração de escoamento superficial em áreas urbanas. Quatro tipos diferentes de superfícies foram verificadas: revestimento com blocos maciços de concreto, revestimento com blocos vazados de concreto, uma superfície gramada e outra de solo exposto. Para cada tipo de superfície foram instaladas parcelas experimentais de 1 m x 1 m e foram variadas as declividades longitudinais entre 2% e 7%. Foram aplicadas precipitações com intensidades variáveis entre 60 e 156 mm/h e duração entre 15 e 60 minutos.

Os resultados apresentados mostraram que a superfície com grama apresentou coeficientes de escoamento abaixo de 0,20, mesmo nos casos de precipitações com intensidade superior a 150 mm/h e duração superior a 30 minutos. No caso das parcelas com solo exposto, os coeficientes de escoamento superficial foram até três vezes superiores em relação às superfícies com grama. Tratando dos blocos maciços, com a declividade longitudinal de 2%, a taxa de infiltração final foi de cerca de 70 mm/h e o coeficiente de escoamento não superou 0,40. Os blocos vazados não produziram escoamento superficial, mesmo com declividade de 7%, precipitação com intensidade de 156 mm/h e duração de 60 minutos.

Schlüter e Jefferies (2002) apresentaram o modelo “*Erwin*” para o cálculo das vazões e volumes de saída de pavimentos porosos. Esses autores relataram, ainda, a experiência de sua calibração para um pavimento implantado há 20 meses e utilizado na drenagem de um estacionamento de 0,62ha em Edimburgo, na Escócia. Para essa calibração, foram monitorados 16 eventos com precipitações variando entre 1,4 e 99,6mm e intensidades entre 0,7 e 12,9mm/h. No que se refere aos volumes escoados superficialmente, foi verificada redução causada pelo pavimento variável entre 21 e 85% em função da intensidade e do

volume precipitado. O documento não apresentou a relação entre as vazões de pico observadas e aquelas na situação em que o pavimento estaria impermeável. No entanto, os autores concluíram serem excelentes as estimativas do modelo para os volumes e vazões escoados e que a porosidade do pavimento tem grande influência na determinação das vazões de pico escoadas.

Estudo experimental de Newton *et al.* (2004) avaliou a utilização conjunta de pavimentos porosos e impermeáveis em Brisbane, Austrália. Os pavimentos porosos foram instalados com a finalidade de tratamento das águas de escoamento advindas dos pavimentos impermeáveis. A concentração de entrada de sólidos em suspensão nos pavimentos porosos variou entre 140mg/L e 210mg/L e a remoção média foi de 84%, com mais 7% a 10% de remoção na sub-base, levando a totais variáveis entre 91% e 94%, não relacionados com a vazão infiltrada. Sua pesquisa avaliou, ainda, o aumento de remoção de sólidos em suspensão pela detenção das águas em reservatórios subterrâneos, não tendo sido obtidos acréscimos consideráveis.

Fach e Geiger (2004) avaliaram a eficiência de pavimentos porosos na remoção de metais pesados (zinco, cobre e chumbo), tendo obtido valores variáveis entre 85,2% e 99,2% para pavimentos construídos com diferentes tipos de materiais.

Outros resultados de estudos sobre a remoção de poluentes pelos pavimentos porosos são apresentados na Tabela 3.17.

**Tabela 3.17 – Percentual de remoção de poluentes pelos pavimentos porosos**

Fonte	Poluente						
	SS	N Total	DBO	DQO	Zinco	Chumbo	Global
US-EPA (1999)	65-100%	65-100%	-	-	65-100%	65-100%	-
Urbonas e Stahre (1993)	85-95%	75-85%	80%	-	98%	80%	-
Azzout <i>et al.</i> (1994)	50-70%	-	-	54-89%	-	78-93%	-
Butler e Davies (2000)	-	-	-	-	-	-	80-90%
Daywater (2003)	36-81%	-	39-45%	48-79%	35-67%	76-86%	-

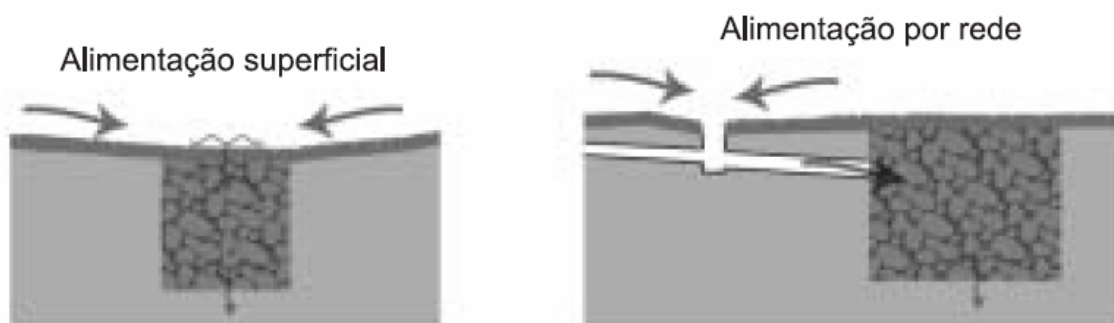
Colandini (1997) avaliou um pavimento poroso com estrutura de reservação implantado para a drenagem de uma área residencial em Rezé, na região de Nantes, França. A análise das águas infiltradas e percoladas levou à verificação de eficiência de remoção de 61% para sólidos em suspensão, 81% para o chumbo, 62% para o cádmio e 67% para o zinco. No fundo da estrutura do pavimento foi instalado um geotêxtil, que também teve sua importância verificada uma vez que as concentrações de Pb, Cd, Zn e Cu no solo imediatamente inferior foram semelhantes às observadas em uma amostra de solo natural da região.

### Poços de Infiltração

A técnica de poços de infiltração, como o próprio nome indica, visa a evacuar as águas de chuva diretamente no solo através de infiltração. Segundo Azzout *et al.* (1994), os poços de infiltração são geralmente utilizados para drenar áreas até poucos milhares de metros quadrados. Uma de suas características mais importantes é o fato de poder ser aplicada em regiões onde o solo superficial tem pouca permeabilidade, ao contrário de suas camadas mais profundas, com grande permeabilidade.

A recepção das águas pluviais pode ser feita por vertimento através de sua superfície ou da rede de drenagem, sendo apresentadas as duas possibilidades na Figura 3.7. A água é, então, armazenada no poço, que pode ser preenchido ou não com algum material de grande porosidade de forma a não reduzir muito a capacidade de armazenamento. Logo após, a água é evacuada através de infiltração. Em relação ao tipo de infiltração das águas, pode haver duas tipologias de poços:

- Poços de absorção, em que a água é evacuada através de um solo não saturado, bem acima do lençol subterrâneo;
- Poços de injeção, em que a água é infiltrada diretamente no lençol subterrâneo. A utilização desses poços não é recomendada e pode ser realizada apenas quando for prevista a infiltração de águas praticamente sem poluição, como aquelas vindas diretamente do armazenamento em telhados.



**Figura 3.7** – Esquema de funcionamento dos poços de infiltração, com vertimento superficial ou por meio de rede de drenagem (Baptista *et al.* 2005a)

Quanto às alterações proporcionadas nos corpos de água com a utilização dessa técnica, pode ser verificado que, em termos de quantidade, reduzem a zero as vazões escoadas a jusante superficialmente, com a infiltração da totalidade das águas de entrada nos poços.



No que se refere às alterações na qualidade, podem ser verificadas melhorias com a sua infiltração no solo. Assim como apresentado para o caso dos pavimentos com sistemas de reservação em que a evacuação das águas é realizada por meio da infiltração, nesse caso também deve ser prevista uma altura mínima de 1,0m entre a base do poço e o nível mais alto do lençol. É benéfica, ainda, a instalação de dispositivos de pré-tratamento como filtros ou decantadores, para que seja reduzida a possibilidade de poluição do lençol.

Gautier (1998) apresentou resultado de monitoramento por 8 meses de 2 poços de infiltração de águas advindas do escoamento de áreas residenciais. Um dos poços tinha 3 anos de funcionamento e apresentou poluição considerável apenas nos primeiros 10cm de profundidade. No outro poço, com 30 anos de operação, a poluição em níveis consideráveis foi verificada até 20cm de profundidade. Até 1,0m de profundidade foram observados níveis aceitáveis de poluição, sendo verificados solos com características naturais a partir desse nível.

Uma importante característica dos poços de infiltração é o fato de poderem ser usados conjuntamente com outras técnicas com a função de exutório, no caso de trincheiras de retenção ou de valetas, por exemplo. Dessa forma, as outras técnicas atuam com a função de fazer o rearranjo temporal de vazões afluentes, além de melhorarem a qualidade da água a ser infiltrada. Nesses casos, as dimensões dos poços podem ser reduzidas e a manutenção pode ser feita com maiores intervalos de tempo, pois as vazões a serem infiltradas terão menores concentrações de finos e o risco de poluentes será menor, reduzindo o efeito de colmatação e a probabilidade de poluição do aquífero.

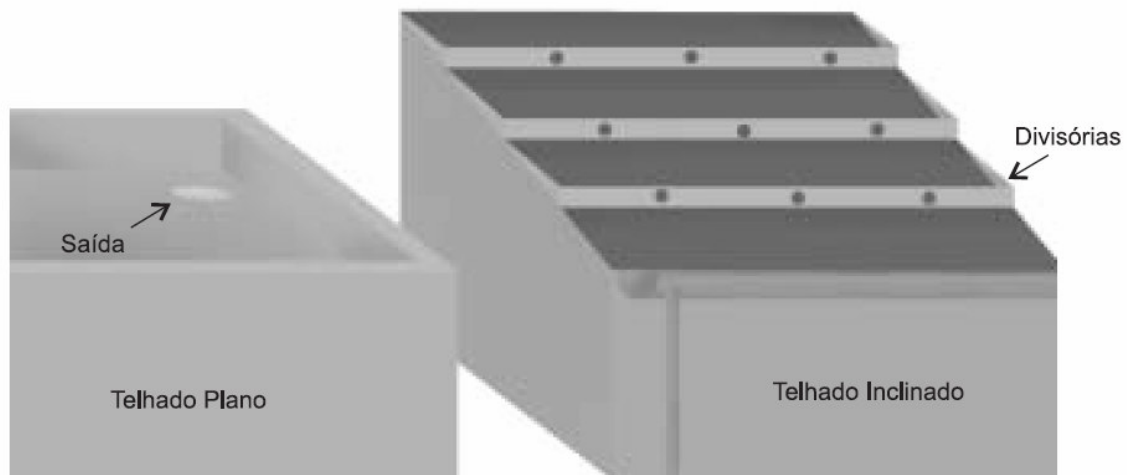
Os poços de infiltração podem, facilmente, integrar-se ao meio urbano, podendo ser implantados em áreas coletivas como parques ou praças ou em terrenos particulares, fazendo a drenagem de pequenas áreas. A vantagem da utilização de poços de infiltração para a drenagem de menores áreas é que podem ter profundidades menores. Thomachot (1979) recomenda que eles sejam empregados, principalmente, em áreas em que não haja a possibilidade da utilização de um exutório.

Como inconvenientes dos poços de infiltração, podem ser citados a baixa capacidade de armazenamento e a possibilidade de colmatação, o que leva à necessidade de manutenção regular.

O início da utilização da técnica de poços de infiltração para drenagem data de meados do século XVIII ao início do século XIX, na França. Até hoje, essa técnica é muito utilizada na França em grandes cidades como Lyon e Marselha. Em outros países, como Alemanha, Inglaterra, Itália e Estados Unidos, são muito utilizados os poços de injeção. Em países como Japão e Austrália, a construção de poços de infiltração é mais recente, iniciando na década de 1990. No Brasil, a partir da bibliografia consultada, não foram encontrados exemplos já executados da utilização dessa técnica para drenagem urbana.

### Telhados armazenadores

Uma das principais conseqüências da urbanização é a impermeabilização dos solos, principalmente através das construções prediais. Sendo assim, uma das possibilidades para redução do escoamento das águas de chuva é o armazenamento provisório dessas águas nos telhados, limitando a descarga a uma determinada vazão máxima através de dispositivos de regulação de vazão. A Figura 3.8 mostra um esquema do funcionamento dos telhados armazenadores.



**Figura 3.8** – Esquema de funcionamento de telhado armazenador (Baptista *et al.*, 2005a)

Essa técnica de armazenamento de água nos telhados pode ser utilizada isoladamente em uma construção ou planejada para uma região inteira. Azzout *et al.* (1994) recomendam que essa técnica seja utilizada para telhados com declividade nula ou variando de 0,1 a 5,0%.

Por se tratar de uma técnica com a função de rearranjo temporal de vazões, seu efeito principal é o de alterar o regime de escoamento a jusante com redução dos picos de cheias causados pelo processo de urbanização. Esse efeito leva a um ganho financeiro devido à

redução das dimensões das tubulações a jusante. Além disso, os telhados armazenadores têm o benefício do baixo custo de investimento, uma vez que não há diferenças técnicas na sua construção em relação aos telhados convencionais.

No entanto, a implantação desses telhados pode ter alguns inconvenientes. Há dificuldade de utilização dessa técnica em telhados com declividades elevadas e devem ser tomadas precauções importantes quanto à estanqueidade. Além disso, há a necessidade de verificação dos cálculos de estabilidade ao utilizar em telhados existentes.

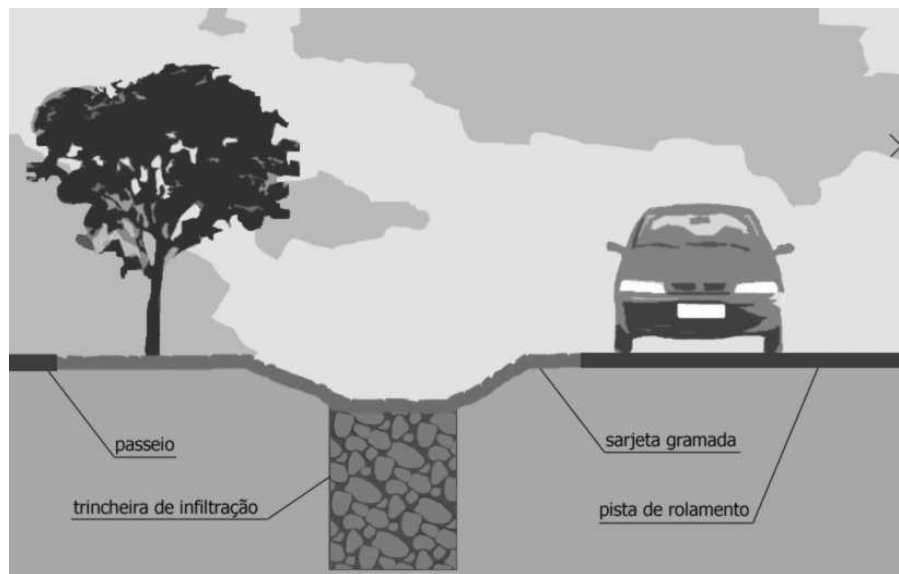
Os telhados armazenadores têm sido utilizados de maneira regular em diversos estados norte americanos, principalmente em regiões da Pensilvânia e Virgínia. Na França, foram descobertos exemplos da utilização dessa técnica na cidade de Aix, na região Provençal (Azzout *et al.* 1994) e em Lyon (Baptista *et al.* 2001). Não há conhecimento da utilização desse tipo de técnica em empreendimentos no Brasil.

### Trincheiras

A trincheira é uma obra subsuperficial linear, com a finalidade de recolher as águas pluviais através de suas laterais e escoá-las por meio de um exutório ou por infiltração. Suas dimensões de largura e profundidade são modestas, geralmente não ultrapassando um metro. Elas podem ser revestidas por vários tipos diferentes de material, como asfalto poroso, concreto, grama ou enrocamento. Além disso, podem ser utilizadas em estacionamentos de centros comerciais, no passeio ao longo de uma via ou em jardins. A forma de coleta das águas pluviais pode ser por meio de drenos ou do escoamento superficial. Quanto à forma de evacuação das águas, as trincheiras podem ser classificadas em:

- Trincheiras de infiltração ou absorção, quando a evacuação é feita por infiltração no solo;
- Trincheiras de retenção quando há um exutório e a finalidade principal da obra é o rearranjo das vazões escoadas no tempo.

A Figura 3.9 mostra o esquema de funcionamento de uma trincheira de infiltração.



**Figura 3.9** – Esquema da utilização de trincheiras (Baptista *et al.*, 2005a)

Em função da possibilidade de ser utilizada com as funções de retenção ou infiltração das águas pluviais, podem ser previstas as mesmas alterações proporcionadas e já apresentadas para a técnica de bacias de retenção na quantidade, qualidade e no regime dos corpos de água.

Dentre os benefícios aportados pelas trincheiras, pode ser ressaltado o ganho financeiro com a redução das dimensões da rede de drenagem a jusante, sua fácil construção e sua boa integração com o meio urbano. No entanto, também podem ser percebidos inconvenientes. Essa técnica não pode ser utilizada em terrenos com grandes declividades. Além disso, devem ser tomadas precauções quanto à possibilidade de colmatagem e quanto ao risco de poluição do lençol, dependendo de sua profundidade, no caso de trincheiras de infiltração.

Dentre os estudos encontrados acerca dessa tecnologia, pode ser citado o de Souza e Goldenfum (2004), que realizaram pesquisa experimental em Porto Alegre, com o objetivo de verificar o desempenho de duas trincheiras de infiltração construídas especificamente para tal fim. Em seu trabalho, foi simulado um período total de 33 meses, não sendo detectadas mudanças significativas no desempenho relacionado às taxas de infiltração. Seus resultados demonstraram a eficiência das trincheiras de infiltração no controle de 100% do volume de escoamento superficial, mesmo para eventos de período de retorno pouco superior ao de projeto. Entretanto, não foram analisados aspectos qualitativos em seu experimento.

Quanto a esse aspecto, Butler e Davies (2000) relatam eficiências médias globais de remoção de poluentes de 65% para sólidos em suspensão, hidrocarbonetos, metais, DQO e outros

poluentes. Os dados apresentados na Tabela 3.18 tratam das eficiências médias de remoção de poluentes apresentadas por Urbonas e Stahre (1993).

**Tabela 3.18** – Eficiência na remoção de poluentes pelas trincheiras de infiltração

Informação/Poluente	SS	P Total	N Total	Zinco	DBO <sub>5</sub>	Bactérias
Eficiência na Remoção	99%	65-75%	60-70%	95-99%	90%	98%

Malmqvist e Hard (1981) avaliaram o lençol sob duas trincheiras de infiltração de águas advindas de telhados de áreas residenciais e industriais na Suécia. Esses lençóis tinham profundidades mínimas variáveis de 1 a 2m. Os resultados de seus estudos não apresentaram aumento nas concentrações de fósforo, nitrogênio ou dos metais monitorados nas águas subterrâneas: zinco, cobre, chumbo e cádmio, mas detectaram ligeiro aumento na concentração de bactérias.

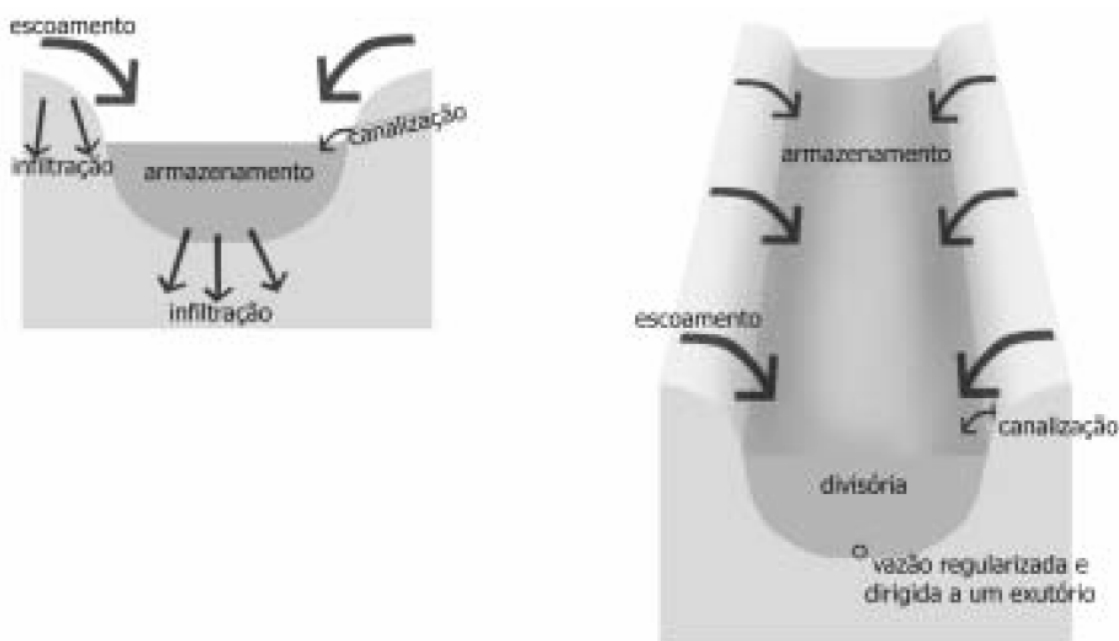
O estudo de Hütter e Remmler (1996) verificou a concentração de metais em trincheiras de infiltração recebendo águas de telhados, estacionamento e pátios de uma área residencial em Dortmund, Alemanha. As amostras foram retiradas após doze meses de operação das trincheiras a diferentes profundidades. Os resultados apresentados mostram concentrações baixas dos parâmetros cobre, níquel, cromo, arsênio, chumbo e cádmio, mesmo até 5cm de profundidade. Quanto ao zinco, mostrou grande concentração nessa profundidade, tendendo a acumular-se nos cinco primeiros centímetros do solo, mas não sendo detectável nas profundidades inferiores.

Segundo Azzout *et al.* (1994), as trincheiras são utilizadas há algum tempo em diversos países como a Alemanha, Austrália, Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Suécia. No Japão, a evacuação de águas provenientes de telhados de templos antigos, castelos ou antigas casas é realizada por meio de simples trincheiras de cascalho. Na França, a técnica de trincheiras já é utilizada há algum tempo em obras de drenagem urbana em grandes cidades como Bordeaux e Lyon.

No Brasil, conforme Baptista *et al.* (1998), essa técnica é utilizada no loteamento “Vivendas de Santa Mônica”, localizado no município de Igarapé, na Região Metropolitana de Belo Horizonte. Nesse condomínio, com uma área total de 71,53ha, foram implantadas trincheiras de infiltração em todo o seu sistema viário de cerca de 7.100 metros de ruas, avenidas e praças. Há, ainda, a previsão de implantação dessa técnica em outro loteamento, no município de Nova Lima, próximo a Belo Horizonte, denominado “Vale dos Cristais”, com ocupação de uma área de 587ha, segundo Baptista *et al.* (2005b).

### Valas e valetas

As valas são obras escavadas na terra, com grande largura e baixa declividade no sentido longitudinal, podendo as valetas serem definidas como valas de pequena profundidade. Suas funções principais são de reduzir os picos de vazões escoadas através de infiltração e/ou da retenção, com o rearranjo temporal dessas vazões. A Figura 3.10 mostra o esquema de funcionamento das valas de infiltração e de retenção.



**Figura 3.10** – Esquema de funcionamento de valas de infiltração e de retenção (Baptista *et al.*, 2005a)

O princípio de funcionamento das valas e valetas é simples. As águas pluviais escoam para o interior delas através das superfícies laterais e, em alguns casos, da rede de drenagem. O armazenamento das águas realiza-se no interior da estrutura, ao ar livre. A evacuação das águas pode ocorrer através de infiltração ou por um exutório, podendo ser divididas, então, em valas ou valetas de retenção ou de infiltração.

Em função de sua utilização para retenção ou infiltração das águas pluviais, de suas dimensões e constituintes, podem ser verificadas alterações na quantidade, qualidade e regime dos corpos de água a jusante semelhantes àquelas já apresentadas anteriormente para as trincheiras e bacias de retenção e/ou infiltração.

Os principais benefícios da implantação das valas ou valetas tratam do ganho financeiro com a redução das dimensões da tubulação da rede, sua fácil construção e a boa integração com o meio urbano. No entanto, alguns inconvenientes podem ser verificados como a possibilidade de colmatção e a necessidade de manutenção regular. Além disso, devem ser tomadas precauções para que não haja risco de estagnação da água o que pode levar à proliferação de insetos e à transmissão de doenças.

A seguir são apresentados alguns estudos com informações acerca da remoção de poluentes proporcionada pelas valas ou valetas.

Malmqvist e Hard (1981) apresentaram resultado de monitoramento do lençol situado entre 0,40m e 1,0m de uma vala de infiltração de águas advindas da drenagem de uma rodovia, não observando aumento de concentração de fósforo, metais ou nitrogênio. No que se refere a bactérias, foi verificado ligeiro aumento.

Ellis (1992) *apud* Butler e Davies (2000) verificou eficiências de remoção de 60 a 70% de sólidos em suspensão e 30 a 40% de metais e derivados de petróleo em valas de retenção e infiltração com 30 a 60cm de largura.

As informações apresentadas em Urbonas e Stahre (1993) indicam que os percentuais de remoção de poluentes por valas de detenção dependem dos seus constituintes e das suas dimensões de construção, podendo ter grandes variações, entre 10 e 90%. Os percentuais mais baixos de remoção ocorrem com nitrogênio e fósforo. No caso de sólidos em suspensão, a eficiência de remoção tende a variar entre 50 e 70%.

As valas ou valetas são utilizadas na Europa e Estados Unidos há algum tempo, principalmente para a drenagem de rodovias ou grandes estacionamentos. Como exemplo de área drenada por valas ou valetas, Azzout *et al.* (1994) citam a área de um loteamento de 4,2ha em Bruges, realizada em 1986. Outra área citada é em Valence, onde, para a drenagem de cerca de 120 ha, foi usada uma conjugação de técnicas alternativas com a utilização de valas e valetas, incluindo bacias de retenção e de infiltração.

No Brasil, por meio da bibliografia consultada, não foram encontrados exemplos da utilização dessa técnica na drenagem urbana com o objetivo estrito de rearranjo temporal de vazões. Entretanto, em drenagem rodoviária, frequentemente, são utilizados esses dispositivos.

### **3.6- Conclusões**

Neste capítulo, foram apresentados e discutidos os principais impactos da urbanização e da implantação das técnicas de drenagem urbana no ciclo hidrológico e no que se refere aos seus efeitos na quantidade, na qualidade e no regime dos corpos de água.

Quanto aos aspectos quantitativos, a urbanização foi apresentada como causa de alterações dos principais parâmetros utilizados para os estudos de balanço hídrico em meio urbano, notadamente a infiltração, a interceptação e a evapotranspiração, levando ao aumento dos volumes escoados superficialmente em meio urbano.

No que se refere ao regime dos corpos de água, pôde ser verificado o efeito direto do aumento das vazões de pico de cheias devido, principalmente, ao aumento das velocidades de escoamento, ao efeito de artificializar os cursos de água urbanos e à redução dos tempos de concentração.

Acerca dos efeitos na qualidade dos corpos de água em meio urbano, foram observadas diversas fontes contaminantes devidas à urbanização. Nesse sentido, vale ressaltar a questão dos resíduos sólidos, uma vez que boa parte da poluição das águas pluviais é advinda de dejetos depositados nas áreas urbanas e não coletados pelos sistemas de limpeza pública. As fontes de contaminantes são capazes de alterar, de forma negativa, as concentrações dos parâmetros de poluição. Apesar da observação de que as águas pluviais podem provocar forte alteração em diversos parâmetros, não há, ainda, grande preocupação, principalmente no Brasil, de monitoramento de sua qualidade. Para a sua boa modelagem, é necessária a obtenção de bases consistentes de dados advindos de monitoramentos sistemáticos em situações reais.

Uma constatação importante na revisão bibliográfica refere-se aos poucos estudos desenvolvidos relativos aos efeitos da urbanização em determinada área de influência e, principalmente, de seu impacto na qualidade das águas. Muitas das referências encontradas tratam de estudos que foram realizados para a busca de soluções de problemas de drenagem urbana, sem a identificação de suas causas. Há a carência de mais estudos consistentes de quantificação dos reais impactos no ciclo hidrológico de diferentes padrões de urbanização. Esses estudos poderiam levar a indicadores que dariam subsídio a Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano, Planos de Ocupação dos Solos e ao planejamento para o desenvolvimento de condomínios ou crescimento de áreas urbanizadas.



Tratando da drenagem urbana, foi apresentada a evolução das tecnologias aplicadas desde os tempos antigos até hoje. No histórico realizado, foram relatados os fundamentos básicos dos sistemas clássicos de drenagem urbana e os problemas enfrentados por estes, que levaram à necessidade de desenvolvimento das novas soluções alternativas ou compensatórias.

Nas pesquisas realizadas para a revisão bibliográfica, foi constatada a existência de muitos estudos em relação às novas técnicas, denominadas alternativas ou compensatórias, e que mostram, em alguns aspectos, serem vantajosas em relação às soluções clássicas. A Tabela 3.19, adaptada de Castro (2002), apresenta uma síntese com as principais características das técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana.

Em sua idéia de compensação dos efeitos da urbanização para os corpos de água, essas técnicas podem assumir funções de retenção e/ou de infiltração das águas escoadas. Cada uma delas, em função de seu dimensionamento, pode ter diferentes desempenhos no que se refere às alterações de qualidade, quantidade e regime dos corpos de água superficiais ou subterrâneos. Além disso, podem ser previstos diversos arranjos com a utilização de mais de uma técnica de drenagem, com operação conjunta.

O loteamento “Vale dos Cristais”, localizado em Nova Lima, próximo a Belo Horizonte, pode ser citado como um exemplo de empreendimento cujo projeto prevê a utilização de mais de uma técnica de drenagem, variando desde reservatórios de detenção em nível de parcela até uma bacia de detenção em um córrego, passando por trincheiras e valetas de detenção e infiltração e estruturas de detenção temporária nos pontos de deságüe das galerias de drenagem.

No que se refere aos aspectos qualitativos, as técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem foram verificadas como eficientes para a remoção de poluentes, com percentuais variáveis nos diversos estudos referenciados.

Em síntese, a implantação de um empreendimento de desenvolvimento urbano com qualquer tipo de ocupação ou arranjo projetado para o sistema de drenagem poderá levar a alterações no regime, quantidade e qualidade existente nos corpos de água.

Em função das diferentes possibilidades de arranjos e tipos de urbanização possíveis, pode ser verificada a necessidade de desenvolvimento de uma metodologia a ser utilizada para a avaliação global dos efeitos desses empreendimentos, envolvendo todos os seus impactos nos recursos hídricos.

No próximo capítulo, serão abordados aspectos da legislação existente relacionada aos recursos hídricos e suas ligações com os efeitos da urbanização no ciclo hidrológico.

**Tabela 3.19 – Síntese das técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana (adaptada de Castro, 2002)**

Técnica	Princípio Básico	Principais Vantagens	Principais Inconvenientes
1- Bacias de detenção	Rearranjo temporal de vazões e/ou redução dos volumes escoados e melhoria da qualidade das águas	Efeito paisagístico Criação de área de lazer Possibilidade de depuração das águas Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações a jusante Possibilidade de utilização dos volumes armazenados para outros fins	Ocupação de grandes áreas Risco de proliferação de insetos e doenças veiculadas por eles nas áreas próximas à da bacia
2- Pavimentos com estruturas de reservação	Rearranjo temporal de vazões e/ou redução dos volumes escoados e melhoria da qualidade das águas	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações a jusante No caso de pavimentos porosos, proporcionam a filtração de poluentes, redução dos níveis sonoros e a melhora na aderência de pneus durante eventos de chuva	Possibilidade de colmatção no caso de pavimentos porosos Necessidade de manutenção regular Insuficiência de estudos ou experiências da utilização em áreas de grande tráfego de veículos Risco de poluição do lençol, dependendo de sua profundidade, nos casos em que ocorrer infiltração
3- Poços de infiltração	Redução do volume escoado e melhoria da qualidade das águas	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações da rede Baixo custo de investimento Possibilita a recarga de aquífero Boa integração com o meio urbano Proporciona filtração de poluentes	Possibilidade de colmatção Necessidade de manutenção regular Risco de poluição do lençol, dependendo de sua profundidade Baixa capacidade de armazenamento
4- Telhados armazenadores	Rearranjo temporal de vazões	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações a jusante Baixo custo de investimento Não há diferenças técnicas na construção em relação aos telhados convencionais	Necessidade de manutenção regular Dificuldade da utilização em telhados com declividades elevadas Necessidade de precauções quanto à estanqueidade Necessidade de cuidados, como cálculos de estabilidade, ao utilizar em telhados existentes
5- Trincheiras	Rearranjo temporal de vazões e/ou redução dos volumes escoados e melhoria da qualidade das águas	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações da rede Fácil construção Boa integração com o meio urbano	Necessidade de manutenção regular Não pode ser utilizada em áreas com fortes declividades Risco de poluição do lençol, dependendo de sua profundidade, no caso de trincheiras de infiltração Possibilidade de colmatção
6- Valas e valetas	Rearranjo temporal de vazões e/ou redução dos volumes escoados e melhoria da qualidade das águas	Ganho financeiro com redução das dimensões das tubulações da rede Fácil construção Boa integração com o meio urbano	Possibilidade de colmatção Necessidade de manutenção regular Risco de estagnação da água Risco de poluição do lençol, dependendo de sua profundidade, no caso de valas ou valetas de infiltração



## **4- LEGISLAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **4.1- Introdução: Legislação de recursos hídricos no Brasil**

O primeiro documento legal estruturado referente ao uso das águas no Brasil é o Código de Águas, de 1934 (Decreto 24.643/1934). Esse Código, apesar de já ter completado 70 anos de existência, pode ser, ainda, considerado de grande importância no Direito brasileiro, com boa parte de seu texto ainda em vigência.

Em 1997, foi promulgada a Lei Federal 9.433, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH e criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa lei apresenta os fundamentos sobre os quais deverá se basear a PNRH, seus objetivos e diretrizes gerais de ação.

De todos os estados brasileiros e o Distrito Federal, apenas Roraima não possui, ainda, sua lei disposta sobre a política de recursos hídricos. Apesar de alguns dos estados terem suas leis editadas antes da Lei Federal 9.433/97, em todas há a previsão da outorga de direito de uso das águas como um dos instrumentos de gestão.

No presente capítulo, são comentados os principais aspectos da legislação federal e estadual no que se refere à outorga e suas relações com a urbanização e a consequente implantação de sistemas de drenagem urbana. Além disso, são apresentados aspectos relevantes quanto à legislação de recursos hídricos de outros países e a drenagem urbana.

### **4.2- Dominialidade das águas pluviais**

Conforme apresentado anteriormente, a Política de Águas no Brasil teve início com a edição do Decreto que dispõe sobre o Código de Águas, de 1934. No tocante à dominialidade das águas, em seus artigos 1º e 2º, ele definiu como sendo *públicas de uso comum ou dominicais*, as correntes, canais, lagos e lagoas navegáveis ou flutuáveis e as fontes e reservatórios públicos. Eram considerados públicos, ainda, os braços de quaisquer correntes públicas, desde que os mesmos influíssem na navegabilidade ou fluviabilidade.

O artigo 3º do mesmo Código afirma que a perenidade das águas era condição essencial para que elas pudessem ser consideradas públicas, ressalvando em seu parágrafo único que eram consideradas perenes, ainda, “*as águas que secarem em algum estio forte*”. Nessa situação, eram incluídos rios perenes que em anos de estiagem prolongada e mais pronunciada chegassem a secar durante um período.

No artigo 8º, eram definidas as *águas particulares*, sendo as nascentes e todas as águas situadas em terrenos de particulares, além daquelas que não estivessem classificadas entre as águas comuns de todos, públicas ou comuns.

Em síntese, o entendimento à época era que as águas públicas eram aquelas navegáveis ou referentes a obras públicas. Quanto àquelas não navegáveis, seriam de propriedade dos particulares donos dos terrenos marginais.

No artigo 29, as águas públicas eram divididas em dominialidade municipal, estadual ou da União. As águas de domínio da União eram aquelas situadas em territórios da União, quando serviam de limites com nações vizinhas ou se estendiam por territórios estrangeiros, quando serviam de limites de estados ou quando percorriam parte do território de dois ou mais estados.

As águas eram consideradas de domínio dos estados quando serviam de limites a dois ou mais municípios ou quando percorriam parte do território de dois ou mais municípios. As águas de domínio municipal eram aquelas exclusivamente situadas em seus territórios.

Com o advento da Constituição Federal de 1988, algumas alterações quanto ao domínio das águas foram realizadas, principalmente no tocante à eliminação das águas particulares e municipais. Nesse documento, no inciso III do artigo 20, são definidos como bens da União *“os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”*.

O artigo 26, em seu inciso I, afirma que incluem-se entre os bens dos estados *“as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União”*.

No entanto, um ponto não foi tocado nessa Constituição, o que se refere às águas pluviais.

O Código de Águas, em seu artigo 102, define as águas pluviais, sendo aquelas que procedem imediatamente das chuvas e afirma, logo adiante, no artigo 103, que estas águas pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas à vontade, salvo existindo direito em sentido contrário. Porém no parágrafo único deste artigo o Código se mostra bastante atual e sábio ao determinar que, *“ao dono do prédio, porém, não é permitido:*

- *Desperdiçar essas águas em prejuízo dos outros prédios que delas se possam aproveitar, sob pena de indenização aos proprietários dos mesmos;*
- *Desviar essas águas de seu curso natural para lhes dar outro, sem consentimento expresso dos donos dos prédios que irão recebê-las.”*

Continuando a análise do Código de Águas, o artigo 104 declara que, “*transpondo o limite do prédio em que caírem, abandonadas pelo proprietário do mesmo, as águas pluviais, no que lhes for aplicável, ficam sujeitas às regras ditadas para as águas comuns e para as águas públicas*”. Neste momento, por meio do escoamento superficial ou da sua infiltração e passando do limite de propriedade em que estas águas precipitarem, as águas pluviais passariam a ter, então, o domínio público estadual ou da União, conforme definição da Constituição Federal de 1988.

E por fim, os artigos 107 e 108 do Código de Águas, dispõem que as águas pluviais que caírem em lugares ou terrenos públicos de uso comum são de domínio público, não podendo, ser construídos reservatórios para aproveitamento das mesmas sem a licença da administração, no caso o Poder Público.

Entretanto, com a Lei Federal 9.433/97, todas as águas tornam-se públicas. Apesar de não tratar especificamente das águas pluviais, o primeiro fundamento disposto nessa lei é o de que a água é um bem de domínio público. Com esse fundamento todas as águas estão contabilizadas, inclusive as pluviais, tornando-se agora públicas.

#### **4.3- Legislação federal relacionada à outorga**

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é o instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que tem a finalidade de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

A outorga foi instituída inicialmente no Código de Águas de 1934. Nesse documento, a outorga poderia ser concedida por meio de concessões ou autorizações.

As concessões eram outorgadas por meio de decreto do Presidente da República, referendado pelo ministro da Agricultura. À época, a PNRH era voltada para os aproveitamentos hidrelétricos, sendo esse o setor predominante. Sendo assim, no detalhamento dos critérios e procedimentos das outorgas, era natural que esse setor fosse privilegiado. Quanto aos aproveitamentos hidrelétricos, no seu artigo 153 o Código afirma que o concessionário fica

obrigado a reservar uma fração da descarga ou a energia correspondente a uma fração da potência concedida, em proveito dos serviços públicos da União, dos estados ou dos municípios. No Artigo 154 ele determina, entretanto, que as reservas de água não poderiam privar a usina de mais de 30% da energia que ela dispunha, dando, claramente, prioridade de uso da água em relação a outros setores como irrigação ou indústrias. Estes setores poderiam utilizar, no máximo, 30 % da disponibilidade hídrica, não sendo especificada, entretanto, a vazão de referência a ser utilizada para o cálculo.

Quanto às autorizações, deveriam ser outorgadas por meio de atos do ministro da agricultura. O prazo máximo das autorizações era de 30 anos, com possibilidade de renovação, ao contrário das concessões, que, apesar de poder ter prazos de validade de até 50 anos teriam suas obras de captação, regularização e de derivação revertidas para a União, para os estados ou para os municípios, conforme a dominialidade das águas.

No que se refere aos outros setores usuários, como agricultura, indústria ou consumo humano, o Código afirmava que deveriam ser outorgados por meio de concessão administrativa no caso de utilidade pública e, nos outros casos, por meio de autorização administrativa. O Código já tinha a previsão de derivações insignificantes, afirmando que deveriam ser dispensadas de outorga sem, no entanto, estabelecer critérios para tal dispensa.

Em relação às águas subterrâneas, o Código de Águas dispunha que o dono de qualquer terreno poderia apropriar-se por meio de poços, galerias, etc, dessas águas, contanto que não prejudicasse aproveitamentos existentes. Portanto, para esses usos não eram necessárias outorgas do Estado. Entretanto, ele afirma que, caso o aproveitamento das águas subterrâneas prejudicasse ou diminuísse as águas públicas dominicais ou de uso comum ou particulares, a administração competente poderia suspender as ditas obras e aproveitamentos. No caso das águas subterrâneas, o único ato sujeito à concessão administrativa era a abertura de poços em terrenos de domínio público.

Com a promulgação da Lei Federal 9.433 em 08 de janeiro de 1997, foram criados instrumentos a serem utilizados para atuação da PNRH. Estes instrumentos são listados abaixo, sendo eles:

*I. Os Planos de Recursos Hídricos;*

*II. O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;*



*III. A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;*

*IV. A cobrança pelo uso de recursos hídricos;*

*V. A compensação a municípios;*

*VI. O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.*

Vale ressaltar que o instrumento referente ao inciso V, ou seja, a compensação a municípios, apesar de ter sido criado em lei, teve seus artigos de detalhamento vetados. Na nova legislação, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos foi determinada como sendo um dos instrumentos, devendo ser disciplinada e autorizada pelo Poder Público para os seguintes usos de recursos hídricos, conforme os incisos abaixo enunciados do artigo 12 da mesma Lei 9.433/97:

*I. Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;*

*II. Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;*

*III. Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;*

*IV. Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;*

*V. Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.*

Apesar de não estar determinado expressamente na Lei 9.433/97 como sujeita à outorga, a urbanização pode causar efeitos significativos no ciclo hidrológico em meio urbano, conforme já discutido no capítulo anterior, alterando o regime, a quantidade e a qualidade das águas existentes nos corpos de água. Esse fato permite o seu enquadramento no inciso V do Artigo 12 da mesma lei.

Nesse sentido, pode ser afirmado que, assim como determinado no Artigo 13, a implementação do projeto de urbanização de uma área deve estar condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos planos de recursos hídricos e deverá respeitar a classe em que os corpos de água receptores estiverem enquadrados, preservando o uso múltiplo das águas.

Por meio dessa lei, as outorgas passam a ser de efetivação por ato de autoridade outorgante competente do Poder Executivo Federal, dos estados ou do Distrito Federal, de acordo com a

dominialidade do corpo de água. Torna-se possível, entretanto, o Poder Executivo Federal delegar aos estados e ao Distrito Federal a competência para conceder outorga de direito de uso de recurso hídrico de domínio da União.

Em 17 de julho de 2000 foi promulgada a Lei Federal 9.984, dispondo sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA. Nesta lei, são definidas as atribuições da ANA, sendo uma delas de outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União.

Nessa lei é criada, em nível federal, a figura da outorga preventiva de uso, destinada a reservar as vazões passíveis de outorga, sem conferir o direito de uso de recursos hídricos. O grande aporte desse documento, conforme disposto na própria lei, é o de possibilitar a investidores o planejamento de empreendimentos por prazos mais dilatados.

Quanto a empreendimentos de aproveitamento de potenciais hidrelétricos, é definida a necessidade de um documento de declaração de reserva de disponibilidade hídrica devendo ser obtido pela ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, para licitar a concessão. Esse documento é semelhante à outorga preventiva de uso, não autorizando, ainda, o direito de uso das águas.

No que se refere à legislação federal acerca da outorga de direito de recursos hídricos, foram editadas, ainda, algumas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH e da ANA.

Do CNRH, há quatro resoluções editadas referindo-se à outorga. A primeira delas, de número 16/2001, tem a finalidade de regulamentar alguns aspectos da outorga, estabelecendo procedimentos e critérios gerais para seus pedidos, sua análise e tramitação nos órgãos gestores de recursos hídricos. As resoluções n<sup>os</sup> 29/2002 e 55/2005 estabelecem diretrizes para a outorga, notadamente, para o setor de mineração. Quanto à Resolução n<sup>o</sup> 37/2004, as diretrizes estabelecidas são para a outorga referente à implantação de barragens.

Quanto aos aproveitamentos hidrelétricos, a ANA editou a Resolução n<sup>o</sup> 131/2003, com os procedimentos referentes à emissão de declaração de reserva de disponibilidade hídrica e de outorga de direito de uso de recursos hídricos para uso de potencial de energia hidráulica superior a 1 MW em corpos de água de domínio da União.

Também para outros usos de recursos hídricos referentes a captações para abastecimento público, dessedentação de animais, irrigação e consumo industrial, além de lançamentos de efluentes domésticos ou industriais, a ANA editou a Resolução nº 707, de 21 de dezembro de 2004.

Entretanto, não há, ainda, nenhuma referência específica nas legislações federais no que se refere ao disciplinamento de procedimentos ou critérios a serem utilizados nas análises de pedidos de outorgas para a finalidade de urbanização e implantação de sistemas de drenagem urbana.

#### **4.4- Legislação estadual**

Todas as leis estaduais de recursos hídricos promulgadas possuem a previsão legal para a emissão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos. A primeira lei acerca de Política Estadual de Recursos Hídricos foi a de São Paulo em 1991. A partir daí, foram sendo discutidas e editadas as leis referentes aos outros estados, restando, ainda, Roraima, cujo projeto de lei ainda está em discussão em sua Assembléia Legislativa. A Tabela 4.1 apresenta as leis estaduais de recursos hídricos.

**Tabela 4.1 – Leis estaduais de recursos hídricos**

Estado	Lei	Estado	Lei
Acre	Lei 1.500/2003	Pará	Lei 6.381/2001
Alagoas	Lei 5.965/1997	Paraíba	Lei 6.308/1996
Amapá	Lei 686/2002	Paraná	Lei 12.726/1999
Amazonas	Lei 2.712/2001	Pernambuco	Lei 11.426/1997
Bahia	Lei 6.855/1995	Piauí	Lei 5.165/2000
Ceará	Lei 11.996/1992	Rio de Janeiro	Lei 3.239/1999
Distrito Federal	Lei 2.725/2001	Rio Grande do Norte	Lei 6.908/1996
Espírito Santo	Lei 5.818/1998	Rio Grande do Sul	Lei 10.350/1994
Goiás	Lei 13.123/1997	Rondônia	Lei Complementar 255/2002
Maranhão	Lei 8.149/2004	Santa Catarina	Lei 9.748/1994
Mato Grosso	Lei 6.945/1997	São Paulo	Lei 7.663/1991
Mato Grosso do Sul	Lei 2.406/2002	Sergipe	Lei 3.595/1995
Minas Gerais	Lei 13.199/1999	Tocantins	Lei 1.307/2002

A lei de recursos hídricos de São Paulo determina que “a implantação de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, a execução de obras ou serviços que alterem seu regime, qualidade ou quantidade dependerá de prévia manifestação, autorização ou licença dos órgãos e entidades competentes”, dadas por meio da emissão da outorga de direito de uso de recursos hídricos.

Mais adiante, na mesma lei, é definido que *“dependerá de cadastramento e da outorga do direito de uso a derivação de água de seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo, para fins de utilização no abastecimento urbano, industrial, agrícola e outros, bem como o lançamento de efluentes nos corpos d'água, obedecida a legislação federal e estadual pertinentes e atendidos os critérios e normas estabelecidos no regulamento”*.

Quanto ao Ceará, com sua lei publicada em 1992, pouco depois da lei paulista, poucas alterações foram inseridas no texto referente a outorga. Quanto aos usos sujeitos à outorga de direito de uso de recursos hídricos são apresentados em seu artigo 4º, transcrito a seguir: *“a implantação de qualquer empreendimento, que consuma recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, a realização de obras ou serviços que alterem o regime, quantidade ou qualidade dos mesmos, depende de autorização da Secretaria de Recursos Hídricos, na qualidade de Órgão Gestor dos Recursos Hídricos no Estado do Ceará, sem embargo das demais formas de licenciamento expedidas pelos Órgãos responsáveis pelo controle ambiental, previstos em Lei”*.

A lei de recursos hídricos da Bahia, de 1995, traz algumas modificações em relação ao texto da lei do Ceará: *“a implantação, ampliação e alteração de projeto de qualquer empreendimento que demande a utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, bem como a execução de obras ou serviços que alterem o seu regime, quantidade ou qualidade, dependerão de prévia outorga do órgão competente”*.

Nos aspectos referentes à outorga, a lei do Rio Grande do Sul determina que *“dependerá da outorga do uso da água qualquer empreendimento ou atividade que altere as condições quantitativas e qualitativas, ou ambas, das águas superficiais ou subterrâneas”*. No entanto, essa lei apresenta uma alteração relevante. Nos outros estados, há a previsão de um único órgão gestor de recursos hídricos responsável pela emissão de todas as outorgas. No Rio Grande do Sul, é definido que o órgão ambiental do Estado é o responsável pela emissão da outorga quando referida a usos que afetem as condições qualitativas das águas.

No Estado de Minas Gerais, foi editada a primeira lei dispendo sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos em 1994 (lei 11.504/94). No entanto, para se adequar à Política Nacional instituída em 1997, foi necessária a redação e aprovação de nova lei em 1999, cujo texto referente aos usos outorgáveis é bastante semelhante ao da lei federal 9.433/97.

Em alguns estados da Região Norte, em função de peculiaridades referentes à região, foram acrescentados outros usos da água sujeitos à outorga. Esse é o caso do Amazonas, Amapá e Pará que determinam como outorgável, além daqueles usos previstos na Lei Federal 9.433/97, a utilização de hidrovias para transporte. A lei estadual do Amazonas acrescenta, ainda, como sujeitos à outorga, usos não-consuntivos que impliquem a exploração dos recursos hídricos por particulares, com finalidade comercial, incluindo a recreação e balneabilidade.

Estados como o Espírito Santo, o Paraná e o Amapá especificaram em suas leis de recursos hídricos a necessidade da outorga para drenagem urbana. Esses estados incluíram nos usos de recursos hídricos sujeitos à outorga, um inciso específico com o seguinte texto: “*intervenções de macrodrenagem urbana para retificação, canalização, barramento e obras similares que visem ao controle de cheias*”.

Em função de verificação da necessidade, estados como Tocantins, na regulamentação de sua legislação de outorgas, têm detalhado melhor os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga. Sendo assim, em sua minuta de decreto de outorga aprovada no Conselho Estadual de Recursos Hídricos, o Estado de Tocantins inseriu o mesmo texto existente nas leis do Paraná, Espírito Santo e Amapá, acerca da necessidade de outorga para as intervenções de macrodrenagem urbana.

Como pode ser visto pelos textos transcritos de algumas das leis estaduais de recursos hídricos, apesar de haver pequenas modificações em seu teor, os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga são, em resumo, todos aqueles que alteram características de quantidade, qualidade e regime de corpos de água, seja por meio de captações, lançamentos ou execução de obras.

No entanto, não são todos os órgãos gestores de recursos hídricos que têm sistemas implementados para a emissão de outorgas, sendo a maior parte apenas para captações de águas superficiais ou subterrâneas e construção de barramentos. Quanto à implantação de sistemas de drenagem urbana devido a empreendimentos de urbanização, apesar de poderem ser enquadrados como sujeitos à outorga conforme suas legislações, não há nenhum órgão outorgante no País que as emita ainda, podendo ser citados como motivos a ausência de procedimentos ou critérios definidos para tal fim.

#### **4.5- Legislação de outros países**

A seguir, nesse item, são apresentados alguns aspectos referentes à outorga ou autorização para uso das águas em outros países. Para isso, foram buscados os principais documentos legais como códigos civis e de águas, além de leis nacionais desses países.

A escolha dos países ocorreu por se tratarem de alguns dos mais relevantes na América Latina, como Argentina, Chile e México, com legislações diversas no que se refere ao documento legal autorizativo para o uso dos recursos hídricos. Além desses, são apresentadas informações, ainda, sobre a legislação de Portugal e da França, países da Comunidade Européia que vêm envidando esforços para seguir suas Diretivas-Quadro.

##### **4.5.1- Legislação argentina**

No caso da Argentina, a gestão de recursos hídricos é baseada nos princípios do seu Código Civil e de sua Lei Nacional nº 25.688 de 2002. Para o presente trabalho foi pesquisado, ainda, o Código de Águas da Província de Buenos Aires, editado por meio da Lei nº 12.257 de 1999.

O Código Civil dispõe sobre recursos hídricos em seus artigos 2.630 a 2.653. Quanto à dominialidade das águas pluviais, ele apresenta, em seu Artigo 2.635, que pertencem aos donos das propriedades onde elas caírem e seu proprietário é livre para dispor delas ou desviá-las, sem entretanto poder causar prejuízo aos donos de propriedades localizadas abaixo. No caso das águas pluviais que caírem em locais públicos, todos podem apropriar-se delas devendo, ainda, ser editada regulamentação específica para definição da forma.

No que se refere às águas que surgem em terrenos de particulares, o Artigo 2.637 do mesmo Código determina que pertencem a seus donos, que podem usar livremente, inclusive modificando sua direção natural. No entanto, o mesmo artigo define que, a partir do momento que constituírem curso de água com caudal natural, as águas passam a ser de domínio público e não podem ser alteradas ou modificadas sem autorização do Estado.

As autorizações do Estado por meio de outorgas são determinadas nos artigos 2.642 e 2.645. No primeiro é definido que é proibido aos donos de propriedades ribeirinhas sem concessão da autoridade competente mudar o curso natural das águas, alterar seu leito ou realizar derivações ou captações de qualquer modo ou volume para seus terrenos. No segundo, é afirmado que a construção de represas de águas de rios ou quaisquer cursos de água serão regulamentadas por normas do direito administrativo.

Segundo a Lei Nacional 25.688/2002, em seu artigo 5º são entendidos como utilizações das águas:

- A captação ou desvio de águas superficiais;
- O barramento ou a modificação no fluxo de águas superficiais;
- O lançamento de substâncias sólidas ou líquidas nas águas, sempre que tal ação afete a qualidade das águas;
- O lançamento de efluentes nas águas superficiais, sempre que afete a sua qualidade;
- O lançamento de substâncias em águas costeiras, sempre que tais substâncias sejam introduzidas em terra firme ou tenham sido transportadas especificamente para tal lançamento;
- O lançamento de substâncias em águas subterrâneas;
- A exploração de águas subterrâneas;
- O barramento ou desvio de águas subterrâneas;
- Ações que provoquem alterações nas propriedades físicas, químicas ou biológicas da água;
- Modificações artificiais na fase atmosférica do ciclo hidrológico.

Assim como no Brasil, esses usos de águas são sujeitos à outorga de pelo poder público. No caso de usos de águas cujo impacto se estenda a mais de uma jurisdição provincial, deve ser solicitada, ainda, autorização do respectivo Comitê de Bacia.

No Artigo 7º da mesma lei, é afirmado que uma autoridade nacional deverá:

- Determinar os limites máximos aceitáveis de contaminação para as águas, de acordo com os usos;
- Definir as diretrizes para a recarga e proteção de aquíferos;
- Fixar parâmetros e padrões ambientais de qualidade das águas;
- Elaborar e atualizar o Plano Nacional para preservação, aproveitamento e uso racional das águas, que deverá ser aprovado pelo Congresso Nacional e que conterà, no mínimo, as medidas necessárias à coordenação das ações nas diferentes bacias hidrográficas.

O Código de Águas da Província de Buenos Aires tem como principal finalidade a criação de um órgão público denominado “*Autoridad del Agua*” que possui, dentre suas atribuições, a de outorgar os direitos de uso da água.

No Artigo 6º dessa lei, é disposto que esse órgão deverá elaborar cartas de risco hidrológico, detalhando as áreas que poderão ser afetadas por inundações, atendendo a critérios geomorfológicos e hidrológicos que permitam uma delimitação planialtimétrica dessas áreas, com indicação de graduações em função de possíveis inundações. Nestas áreas não se permitirá a implantação de obstáculos, obras, plantações, etc, sem prévia autorização da Autoridade da Água, por meio da outorga.

Em seu Artigo 26, ela afirma que quando houver interessados no aproveitamento das águas pluviais que ocorrerem em áreas públicas, a Autoridade da Água poderá autorizar definindo os lugares e formas para tal.

Mais adiante, no Artigo 33, são determinadas algumas obrigações a serem seguidas para o uso e para os estudos para a solicitação da autorização de uso da água:

- Aplicar técnicas eficientes que evitem o desperdício e a degradação da água, dos solos e do ambiente humano em geral;
- Preservar a cobertura vegetal protetora de fontes;
- Construir e manter em bom estado instalações e obras hidráulicas;

Para finalizar, a lei apresenta que é um direito conferido pelo Estado, a requerimento do interessado, a possibilidade de outorgar a pessoas físicas ou jurídicas, que sejam de direito público, privado ou misto:

- O direito ao uso ou aproveitamento de águas públicas e do material em suspensão;
- O direito à ocupação de seus canais, leitos ou margens;
- O direito à construção de obras em benefício coletivo relacionadas à água;
- A prestação de serviços públicos relacionados às águas.

Sendo assim, conforme análise da Lei de Buenos Aires nº 12.257 de 1999, podem ser considerados sujeitos à outorga os sistemas de drenagem urbana por tratarem de obras em benefício coletivo relacionadas à água. Elas devem, entretanto, seguir as cartas de risco



hidrológico a serem elaboradas pela Autoridade da Água e outras obrigações contidas em seu Artigo 33 que indicam para técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana.

No caso da Lei Nacional 25.688/2002, a outorga para drenagem urbana pode ser enquadrada em seu Artigo 5º, no qual é disposto que modificações no fluxo de águas superficiais, lançamentos de substâncias sólidas ou líquidas nas águas superficiais ou subterrâneas que alterem sua qualidade, barramentos e desvios de águas subterrâneas e ações que modifiquem propriedades físicas, químicas ou biológicas da água são usos de recursos hídricos sujeitos à outorga. Mais adiante, no Artigo 7º são determinados critérios e princípios gerais a serem seguidos na análise dos pedidos de outorga.

#### **4.5.2- Legislação chilena**

A Legislação chilena de recursos hídricos é apresentada no Decreto-Lei 1122, de agosto de 1981, incluindo os direitos de uso e aproveitamento das águas. As águas no Chile são definidas como sendo um recurso natural público, de forma que pessoas físicas ou jurídicas podem solicitar o direito de utilizá-la. No entanto, nesse País, a outorga ou direito de uso e aproveitamento trata-se de um direito que constitui posse sobre o recurso hídrico. Ao proprietário é facultado usar a água ou obter benefícios deste uso. A Política de recursos hídricos chilena permite o funcionamento de um mercado de águas entre setores de usuários, podendo haver o comércio do documento de outorga, de acordo com suas leis.

Caso exista disponibilidade hídrica em um corpo de água podem outorgar-se novos direitos de aproveitamentos, sendo a propriedade sobre os direitos da água inscrita no registro do terreno. No entanto, a partir do momento em que uma fonte é declarada esgotada, não podem ser outorgados novos direitos de aproveitamento. Nesses casos, a única forma de ter acesso à água é a compra de outro proprietário, seja do documento de direito de aproveitamento ou de parte da água a que ele tem o direito.

Os direitos de aproveitamento podem ser vendidos ou transferidos independentemente do terreno a ser irrigado ou da própria finalidade do uso.

Quanto às águas subterrâneas, também podem ser solicitadas outorgas de direito de aproveitamento. No entanto, nesses casos, a resolução que outorga o seu direito de uso também estabelece a área de proteção do aquífero, impedindo a perfuração de outros poços que possam afetá-la. Caso a exploração de águas subterrâneas cause prejuízo a outros usuários

não previstos, a Autoridade Nacional de Águas, órgão responsável pelas outorgas, poderá determinar uma redução temporal ou permanente de seus direitos de uso.

A legislação chilena prevê prioridade de uso para o consumo humano, para o qual podem ser desapropriadas outorgas para outros fins, sendo realizada, entretanto, compensação financeira ao proprietário da outorga. Nesse caso, ao outorgado deve ser mantida, no mínimo, vazão suficiente para satisfazer suas necessidades de consumo para fins domésticos e subsistência.

Durante períodos de secas extremas, estas podem ser declaradas pelo Presidente da República. Nesses períodos, há uma tentativa de acordo entre os usuários para redução de captações. Não chegando a um acordo, a Autoridade Nacional de Águas pode redistribuir as águas, suspendendo as outorgas devendo, entretanto, compensar os usuários pela redução nos valores de suas vazões.

Quanto a obras de infra-estrutura relacionadas a intervenções em recursos hídricos, a legislação dispõe que os reservatórios com volume acumulado superior a 50.000 m<sup>3</sup> ou adutoras com vazões escoadas superiores a 1,0 m<sup>3</sup>/s necessitam de autorização da Autoridade Nacional de Águas, de forma a prevenir efeitos prejudiciais sobre terceiros ou impactos ambientais adversos.

Sendo assim, a legislação chilena prevê a outorga ou direito de aproveitamento para usos consuntivos, referentes a captações de água. A grande diferença para a outorga emitida no Brasil é que, no caso do Chile, a outorga determina propriedade sobre os direitos da água para os outorgados, podendo dispor da forma como quiserem, inclusive com benefícios econômicos, ou até mesmo não utilizarem.

No que se refere às águas pluviais, são regidas pela Lei 19.525, de 1997. Essa lei define, em seu artigo primeiro, que é atribuição do Estado velar para que as cidades ou centros urbanos possuam sistemas de drenagem de águas pluviais que permitam seu fácil escoamento e disposição. A lei distribui tarefas entre dois ministérios, o de Obras Públicas e o de Habitação e Urbanismo. As atribuições de planejamento, estudos, construção, reparação, manutenção e melhoramento da rede primária de sistemas de drenagem de águas pluviais são do Ministério de Obras Públicas. Quanto à rede secundária, trata-se de atribuição do Ministério de Habitação e Urbanismo.

No entanto, os dois Ministérios devem coordenar, no primeiro momento, o desenvolvimento de planos diretores, nos quais serão definidas as redes primárias e secundárias. Esses planos

serão aprovados pelos dois ministros e devem seguir uma diretriz básica proposta na referida lei, que afirma que as redes de drenagem de águas pluviais deverão ser independentes das redes de coleta de esgotos. Isso significa uma clara opção pela utilização de sistema separador de coleta de águas urbanas.

Em suas disposições transitórias consta que, para as cidades com população superior a 50.000 habitantes, os planos diretores têm o prazo máximo de 5 anos para estarem concluídos. Durante esse prazo, não será exigida dos urbanizadores a construção das redes coletoras de águas pluviais.

Sendo assim, pela análise realizada, verificou-se que a drenagem de águas pluviais no Chile não é sujeita à outorga devendo, no entanto, seguir a procedimentos e critérios a serem definidos nos planos diretores. Um aspecto que vale ser ressaltado trata-se da previsão de redes primárias ou secundárias de drenagem. Apesar de ser um documento recente, a lei chilena afirma apenas em redes de drenagem, não prevendo ou mesmo determinando que os estudos de subsídios para os planos diretores também contemplem técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana.

#### **4.5.3- Legislação mexicana**

No México, a Constituição Federal dispõe, em seu Artigo 27, que as águas são de propriedade da União. O mesmo documento afirma, ainda, que o domínio sobre as águas é inalienável e imprescritível, mas que o governo federal pode outorgar concessões ou autorizações para sua exploração, uso ou aproveitamento.

No tocante à legislação federal, foi promulgada a sua Lei de Águas Nacionais em dezembro de 1992. Essa lei foi regulamentada por um decreto publicado em janeiro de 1994. Em 29 de abril de 2004, entretanto, foi editado um decreto de reformas com a finalidade de regular a exploração, o uso e o aproveitamento de águas nacionais, bem como sua distribuição e controle, com vistas à preservação de sua quantidade e qualidade para o desenvolvimento sustentável.

Os princípios básicos que sustentam a sua Política Nacional de Recursos Hídricos são bastante semelhantes aos da brasileira. Esses princípios estão no Decreto de Reformas e dispõem que a água é um bem de domínio público federal, vital, vulnerável e finito, com valor social, econômico e ambiental, cuja preservação, em quantidade, qualidade e sustentabilidade é tarefa fundamental do Estado e da Sociedade. Um dos princípios dispõe, ainda, que a gestão

integrada de recursos hídricos deve ser realizada por bacia hidrográfica, princípio este também constante na legislação brasileira.

O mesmo Decreto determina que a Comissão Nacional da Água é a autoridade federal, desconcentrada da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais, encarregada de administrar as águas nacionais e seus bens públicos inerentes. Ela tem funções de direito público em matéria de gestão das águas nacionais e atribuições de implementação dos instrumentos definidos na lei.

Um desses instrumentos da lei é a outorga, emitida por meio de uma concessão ou permissão e definida como sendo um título outorgado pelo Poder Executivo Federal, através da Comissão Nacional da Água, para a exploração, uso ou aproveitamento de águas nacionais e de seus bens públicos inerentes, bem como para a construção de obras hidráulicas. Elas podem ser concedidas a pessoas físicas ou jurídicas de caráter público ou privado.

Quanto às finalidades de uso, o Decreto apresenta que a exploração, uso ou aproveitamento de águas para irrigação, abastecimento, uso industrial, aquíicultura, turismo ou quaisquer outras atividades produtivas poderão ser outorgadas pela Comissão Nacional da Água.

Quanto aos usos de recursos hídricos, são apresentados os seguintes como outorgáveis:

- Captação de águas superficiais;
- Exploração de águas subterrâneas;
- Aproveitamento de potenciais hidrelétricos;
- Lançamento de efluentes.

No que se refere aos aspectos quantitativos a serem utilizados na análise dos pedidos para captações de águas superficiais ou subterrâneas, não são apresentados critérios específicos em função de vazões de referência. No entanto, o decreto de reformas determina a ordem de prioridades a ser respeitada quando da solicitação de autorização de usos, a saber:

1. Doméstico;
2. Público urbano;
3. Dessedentação de animais;
4. Irrigação;
5. Uso para manutenção do meio biótico e conservação ambiental;

6. Geração de energia hidrelétrica para serviço público;
7. Industrial;
8. Aqüicultura;
9. Geração de energia hidrelétrica para serviço privado;
10. Lavagem de pátios;
11. Turismo, recreação e fins terapêuticos;
12. Uso múltiplo;
13. Outros.

Para os aproveitamentos hidrelétricos, devem ser realizadas análises baseadas no impacto ambiental, nos planos setoriais e de recursos hídricos e, havendo disponibilidade hídrica, a outorga é concedida por meio de concessão à Comissão Federal de Eletricidade, autoridade que regula o setor.

No caso do lançamento de efluentes, são concedidas permissões de descarga, por meio de títulos de outorga para a descarga de águas residuais em corpos receptores de propriedade nacional. Nesse tipo de permissão podem ser enquadradas as obras de drenagem urbana, no que se refere aos seus lançamentos nos corpos de água. A Comissão Nacional da Água tem a atribuição de determinar os parâmetros que deverão cumprir as descargas e a capacidade de assimilação e diluição dos corpos receptores, assim como as metas de qualidade e os prazos para que sejam alcançadas. Essas metas são determinadas por meio de Declaratórias de Classificação dos corpos de água nacionais e publicadas no Diário Oficial da União.

Para a drenagem urbana, a legislação mexicana define que a Comissão Nacional da Água, em coordenação com os governos estaduais e municipais, deverá construir e operar obras para controle de cheias e proteção contra inundações. Da mesma forma, é sua atribuição a construção de obras complementares que façam com que seja possível o melhor aproveitamento de terras e a proteção de áreas urbanizadas e industrializadas e das pessoas e seus bens contra inundações.

A Comissão Nacional da Água, com o apoio das agências de bacia, deverá classificar as áreas em função dos seus riscos de inundação. Com isso, emitirá normas e recomendações necessárias, bem como estabelecerá medidas de operação e controle para aqueles que

habitarem essas áreas. As agências de bacia deverão apoiar o estabelecimento de seguros contra danos por inundações em áreas de alto risco, de acordo com a classificação realizada.

Apesar de serem atribuições da Comissão a construção e operação das obras de drenagem urbana, quaisquer pessoas físicas ou jurídicas, que lançarem suas águas pluviais na rede de drenagem ou efluentes de esgotamento sanitário ou industrial, devem cumprir normas de qualidade e quantidade emitidas por cada município. Estes municípios, por sua vez, devem tratar as águas advindas de suas redes antes de descarregar em algum corpo receptor.

Um dos princípios das técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana, a infiltração de águas para a recarga de aquíferos, é determinado, especificamente, como sujeito à autorização da Comissão Nacional da Água.

Sendo assim, a outorga é presente na legislação mexicana de recursos hídricos como um dos instrumentos utilizados e aplicados pelo Estado. Ela está bastante direcionada aos aspectos quantitativos referentes a captações e qualitativos de lançamentos de efluentes. Nesse sentido, no tocante à drenagem urbana pode se considerar a necessidade de outorga para o lançamento de suas águas nos corpos de água superficiais e para a infiltração de águas pluviais, apesar da previsão de que essas obras sejam realizadas pelo próprio órgão outorgante.

A ligação de águas pluviais de residências ou empresas na rede de drenagem municipal é sujeita a uma autorização da mesma Comissão Nacional da Água. Essa autorização não possui o nome de outorga, mas sua análise e forma de utilização podem ser equiparadas a ela, uma vez que essas águas devem se enquadrar nos padrões de qualidade e quantidade das legislações municipais. Sendo assim, por meio desses padrões de qualidade e quantidade de lançamento definidos pelos municípios, pode ser induzida a utilização de determinadas técnicas, sejam referentes a sistemas clássicos ou àqueles alternativos ou compensatórios de drenagem em cada parcela.

#### **4.5.4- Legislação na Comunidade Européia**

No caso da Europa, foi aprovada a Diretiva-Quadro 2000/60/CE do Parlamento Europeu, em 23 de outubro de 2000, versando sobre as diretrizes gerais da política de recursos hídricos comum a ser adotada nos países membros. Os países membros devem replicar essa Diretiva-Quadro com as regras gerais a serem seguidas e as particularidades em sua região.

Essa Diretiva dispõe, em suas considerações iniciais, que a Política de Recursos Hídricos comum deve contribuir para a preservação, proteção e melhoria da qualidade do ambiente aquático, mediante utilização prudente e racional, baseando-se na precaução, prevenção e correção dos danos causados aos corpos de água. Especificamente no caso das águas subterrâneas, é ressaltado que deverá ser buscada a inversão do aumento da concentração de poluentes.

A prevenção quanto à poluição deverá ser realizada por meio de controle dos poluentes na fonte, baseando-se no estabelecimento de valores limites para emissões de efluentes. No que se refere aos aspectos quantitativos, a Diretiva determina que as captações e os represamentos devem ser controlados, de forma a garantir a sustentabilidade dos sistemas hídricos.

O objetivo principal da Diretiva é apresentado em seu Artigo 1º, de evitar a continuação da degradação da qualidade das águas, proteger os ecossistemas aquáticos, promover o consumo de água sustentável para os diversos usos, reduzir gradualmente as descargas ou emissões de substâncias poluentes, reduzir e evitar o agravamento da poluição das águas subterrâneas e mitigar os efeitos das inundações e secas.

A Diretiva aplica o princípio da bacia hidrográfica como região a ser considerada para a gestão e apresenta que os programas e medidas deverão ser coordenados e realizados de forma semelhante nessa área. Em cada região hidrográfica considerada, os estados membros deverão realizar estudos de impactos da atividade humana nos corpos de água superficiais e subterrâneos, de forma a possibilitar a definição das ações a serem executadas. Especificamente para as águas voltadas ao consumo humano, todos os corpos de água com vazões captadas ou captações previstas superiores a 10m<sup>3</sup> por dia ou abastecimento de mais que 50 pessoas deverão ser identificados para efeito de proteção. Nos casos de volumes captados superiores a 100m<sup>3</sup> por dia, devem ser monitorados para verificação da adequação do uso.

Conforme previsto na Diretiva, os lançamentos de efluentes serão controlados pelos estados membros, que deverão verificar se estão de acordo com as melhores técnicas disponíveis, se as concentrações estão dentro de parâmetros limites e, no caso de lançamentos difusos, se atendem às melhores práticas ambientais.

O Artigo 11 dispõe sobre os programas de medidas e ressalta as autorizações e os controles necessários aos usos de recursos hídricos. Quanto às captações de águas superficiais e

subterrâneas e barramentos, devem ser controlados por meio de registros e autorizações prévias. Os usos insignificantes são previstos ao afirmar que algumas captações e barramentos podem ser isentos dos controles se não tiverem impacto significativo sobre o estado das águas.

A recarga artificial de águas subterrâneas é tratada em uma alínea específica desse artigo, sendo dada bastante importância ao tema, devendo ser controlada e sujeita, obrigatoriamente, a uma autorização prévia e não podendo comprometer, de forma alguma, a qualidade dos aquíferos. A injeção direta de águas com poluentes em aquíferos é proibida.

As descargas de poluentes, sejam difusas ou concentradas são, também, sujeitas ao controle e autorização prévia e a Diretiva ressalta a necessidade de serem seguidas regras de caráter obrigatório com a adoção de medidas destinadas a evitar ou controlar a descarga direta de poluentes na água. Em relação a essas descargas em corpos de água, sejam advindas de sistemas industriais, esgotamento sanitário ou sistema de drenagem, devem ser implantados sistemas de alerta, visando a prevenir ou reduzir os impactos nos corpos de água ou ecossistemas aquáticos em caso de poluição acidental ou inundações.

Ainda no Artigo 11, é apresentada uma alínea dispondo sobre as outras situações de interferências em corpos de água em que, quaisquer impactos adversos significativos sobre o estado das águas, devem ser sujeitos a autorização prévia e controle e devem visar a alcançar o estado ecológico requerido ou um bom potencial ecológico.

O Anexo V da Diretiva-Quadro define os parâmetros para a classificação qualitativa das águas superficiais e subterrâneas quanto ao seu estado ecológico e o monitoramento necessário à sua avaliação. Segundo os parâmetros definidos, os corpos de água podem ter seu estado ecológico definido como “excelente”, “bom” ou “razoável”, o que vai nortear as medidas a serem adotadas e as autorizações para os usos e interferências na bacia.

A lista de medidas necessárias a serem incluídas nos programas adotados pelos estados-membros é apresentada no Anexo VI. Nessa lista, podem ser ressaltados o controle das emissões de poluentes, o código de boas práticas para os usos múltiplos, medidas para promoção de métodos de produção agrícola adaptados como culturas com baixo consumo de água em regiões mais secas e medidas voltadas para o estímulo ao aumento da eficiência das técnicas de irrigação e à reutilização de águas na indústria, de forma a reduzir os consumos.



O anexo VII apresenta os planos de gestão de bacias hidrográficas e os elementos mínimos que devem abranger. Entre esses elementos, vale ressaltar a necessidade de descrição e análise das pressões e dos impactos da atividade humana no estado das águas, incluindo estimativas das fontes tóxicas de poluição, das fontes difusas de poluição em função dos usos do solo e das pressões sobre o estado quantitativo das águas considerando as captações previstas. Essas estimativas devem ser confrontadas com os controles de captações, lançamentos e barramentos existentes, objetivando definir as ações e medidas a serem adotadas nas bacias e as regras de controles para os novos usos.

A quantidade e a qualidade da água são aspectos inter-relacionados da proteção do ambiente aquático e dos usos de águas, sendo, portanto vertentes indissociáveis da gestão de recursos hídricos. No entanto, conforme Henriques *et al.* (2000), na Diretiva-Quadro europeia da água os aspectos de quantidade são encarados de forma secundária para assegurar a proteção da qualidade. No caso das cheias, por exemplo, o seu controle e mitigação são mais voltados aos efeitos sobre a qualidade da água.

A Diretiva-Quadro europeia busca promover a utilização sustentável das águas, com base na proteção, a longo prazo, dos recursos hídricos disponíveis, por meio da aplicação de medidas para a redução progressiva e eliminação das descargas, emissões e perdas de substâncias que apresentam um risco significativo para o ambiente aquático ou com base na priorização de substâncias que apresentam maior risco.

Essa busca é prevista com o estabelecimento de metas de qualidade, o controle dos usos de recursos hídricos existentes e a serem implantados, a elaboração de planos de gestão de bacias hidrográficas e a execução de medidas ou programas de medidas recomendados nesses planos.

#### 4.5.4.1- Legislação portuguesa

A legislação portuguesa de recursos hídricos tem origem bastante antiga, no início do século passado, em 1919, com o Decreto n.º5787/4I, tendo sido atualizada com o Decreto-Lei n.º 468/71, em 5 de Novembro de 1971. Com o advento da Diretiva Quadro 2000/60/CE do Parlamento Europeu, estabelecendo um quadro de ação comunitária no domínio da Política da Água europeia, foi necessária adaptação da legislação portuguesa para o enquadramento institucional para a gestão das águas. Com essa finalidade, foi promulgada a Lei n.º54/2005, dispondo sobre a dominialidade dos corpos de água e a Lei n.º58/2005, estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Conforme sua Lei nº54/2005, as águas existentes em Portugal podem ter dominialidade pública ou particular, estando compreendidos como públicas as águas pertencentes a:

- Cursos de água, lagos e lagoas navegáveis ou flutuáveis, com os respectivos leitos e margens pertencentes a entes públicos;
- Canais e valas navegáveis ou flutuáveis ou abertos por entes públicos;
- Cursos de água, lagos e lagoas não navegáveis, desde que localizados em terrenos públicos ou que sejam aproveitáveis para fins de utilidade pública com a produção de energia elétrica, irrigação, ou canalização de água para consumo público;
- Lagos e lagoas circundados por propriedades privadas, quando forem alimentados por correntes públicas;
- Cursos de água não navegáveis, nascidos em propriedades privadas, logo que transpuserem os domínios em que nasceram ou para onde foram conduzidos pelo dono, se forem lançados em correntes públicas ou se no final atingirem o mar;
- Nascentes e águas subterrâneas existentes em propriedades públicas;
- Águas pluviais que caem em terrenos públicos, ou quando caírem em terrenos particulares, a partir do momento em que transpuserem os limites da propriedade, se no final atingirem o mar ou águas públicas;
- Águas de fontes públicas, poços e reservatórios públicos ou administrados por entidades públicas.

As águas de domínio particular são as restantes. No entanto, apesar de poderem ter dominialidade particular ou pública, a Lei nº58/2005 atribui ao Estado os poderes para autorizar ou não a sua utilização para qualquer finalidade.

Esse documento institui como Autoridade Nacional da Água o Instituto da Água (INAG), responsável pela gestão dos recursos hídricos e aplicação de alguns de seus instrumentos. O mesmo Decreto cria cinco Administrações de Regiões Hidrográficas (ARH), com atribuição de gestão em nível de bacia sendo também responsáveis pela emissão dos títulos de utilização dos recursos hídricos e por fiscalizar o seu uso.

As utilizações de recursos hídricos são definidas como qualquer aproveitamento superior à necessidade básica para subsistência ou qualquer uso que implique em alteração no estado dos recursos hídricos ou coloque esse estado em perigo. Os títulos de utilização das águas podem

ser atribuídos por licença ou por concessão, não importando a natureza e a forma jurídica do titular. As licenças de utilização e os contratos de concessão são emitidos pelas ARH. Apenas os contratos de concessão de empreendimentos de usos múltiplos devem ser outorgados do Ministério do Meio Ambiente e Ordenamento do Território.

As utilizações sujeitas a licenças são aquelas referentes a:

- Captação de águas;
- Lançamento de efluentes de águas residuárias ou a imersão de resíduos;
- Implantação ou alteração de estruturas ou obras hidráulicas;
- Construção ou implantação de instalações fixas ou desmontáveis, infra-estrutura e equipamentos de apoio à circulação rodoviária, incluindo estacionamentos e acessos ao domínio público hídrico;
- Recarga e injeção artificial em águas subterrâneas;
- A implantação de infra-estrutura hidráulica e a ocupação temporária de corpos de água para construção ou alteração dessa infra-estrutura;
- A realização de aterros ou escavações;
- Competições desportivas e a navegação, bem como as respectivas infra-estruturas e equipamentos de apoio;
- Instalação de infra-estruturas flutuantes, culturas biogenéticas e marinhas;
- Sementeira, plantação e corte de árvores e arbustos irrigados;
- Outras atividades que envolvam a reserva de um maior aproveitamento desses recursos por um particular e que não estejam sujeitas a concessão;
- Outras atividades que possam alterar o estado dos recursos hídricos do domínio público e que venham a ser condicionadas por instrumentos de gestão territorial ou por planos de gestão de bacia hidrográfica.

As utilizações de recursos hídricos públicos sujeitas a concessões são as seguintes:

- Captação de água para abastecimento público;
- Captação de águas para irrigação de área superior a 50 ha;
- Utilização de terrenos do domínio público hídrico que se destinem à edificação de empreendimento turísticos e similares;

- Captação de água para produção de energia;
- Implantação de infra-estruturas hidráulicas que se destinem às finalidades acima.

Quanto às águas de domínio privado, os títulos de utilização são emitidos para os seguintes usos, por meio de autorizações ou licenças prévias:

- Realização de construções;
- Implantação de infra-estruturas hidráulicas;
- Captação de águas;
- Outras atividades que alterem o estado dos recursos hídricos ou coloquem esse estado em perigo;
- Lançamento de efluentes de águas residuárias;
- Imersão de resíduos;
- Recarga e injeção artificial em águas subterrâneas;
- Aterros e escavações.

No caso das captações de águas particulares, a legislação define aqueles usos para os quais não deverão ser solicitadas licenças ou autorizações sendo aqueles cuja potência da bomba de captação não exceda 5 CV. Para esses usos, correspondentes aos usos insignificantes previstos na legislação brasileira, é exigida apenas uma simples comunicação do usuário à entidade competente.

As licenças são correspondentes a autorizações de uso da água por prazos máximos de 10 anos e a lei dispõe que as condições para utilização serão, ainda, estabelecidas em regulamentação. As concessões são efetivadas por meio de contratos estabelecendo todas as condições, direitos e deveres do usuário e podem ter prazos de validade de até 75 anos.

No que se refere às prioridades de usos, a lei determina que os critérios serão estabelecidos nos planos de bacias hidrográficas, mas sempre a captação para abastecimento público será prioritária frente aos outros. Entretanto, é apresentada a diretriz que em igualdade de condições de prioridade terá preferência o uso que se mostrar economicamente mais equilibrado, racional e sustentável, assegurando, ainda, melhor proteção dos recursos hídricos.

Quando se tratar de empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, seja qual for o título de utilização solicitado (licença ou concessão), o requerimento deve ser feito junto com o procedimento de licença ambiental e será analisado conjuntamente.

Sendo assim, quanto às obras de drenagem urbana, por se tratar da implantação de estruturas hidráulicas referentes a águas de domínio público, são sujeitas aos títulos de utilização da água concedidos por meio de licenças. Para essas obras, o princípio básico determinado na lei é que serão autorizadas quando constituírem utilizações aceitáveis e que contribuam para a melhoria da qualidade ou valorização dos recursos hídricos ou, ainda, para a minimização de efeitos de situações extremas sobre pessoas e bens. Esses princípios são coerentes com aqueles referentes às técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana induzindo, de certa forma, a sua utilização nos projetos a serem implantados.

Essas obras de infra-estrutura hidráulica são determinadas como competência exclusiva do Estado, por se tratar de empreendimentos que visem a segurança de pessoas e bens. Dentre os instrumentos de gestão de recursos hídricos previstos na lei estão o Plano Nacional da Água, os Planos de Gestão de Bacia Hidrográfica e os Planos Específicos de Gestão das Águas. Estes últimos são complementares aos planos de gestão de bacia hidrográfica e devem ser elaborados para alguns setores ou tipologias de utilização da água.

Ao elaborar propostas de ocupação de solo constantes dos planos de ordenamento do território e ao exercer as suas competências administrativas em domínios que possam afetar o estado dos recursos hídricos, o governo deve observar as regras e orientações constantes desses planos.

Um dos planos específicos a serem considerados deverá tratar da prevenção e proteção contra riscos de cheias e inundações, secas, acidentes graves de poluição e ruptura de infra-estrutura hidráulica, sendo diretamente relacionado à urbanização. Nesses planos deverão ser abordados os seguintes aspectos:

- Classificação de zonas inundáveis ou ameaçadas pelas cheias;
- Indicação de medidas de proteção e prevenção contra as cheias, além de sistemas de alerta a adotar;
- Definir medidas a serem aplicadas pelo INAG para a redução dos caudais de cheia;
- Estabelecer cotas dos pisos inferiores de obras próximas a corpos de águas e indicação das atividades que não devam ser permitidas ou as condições em que possam ser exercidas.

Em análise da nova legislação portuguesa, pode ser verificada a urbanização e a conseqüente implantação de obras de drenagem urbana como sujeitas à autorização do Estado através de um título de utilização concedido por meio de uma licença. O critério básico proposto na lei para análise dos pedidos de autorização é a melhoria da qualidade ou valorização dos recursos hídricos, devendo ser considerado, ainda, o plano de prevenção e proteção contra riscos de cheias e inundações.

#### 4.5.4.2- Legislação francesa

A gestão de recursos hídricos na França é regida pela Lei das Águas, de 3 de janeiro de 1992, e seus decretos de regulamentação. Apesar da necessidade de que todos os estados-membros da comunidade européia repliquem a Diretiva-Quadro da água, editada em 2000, o texto de tal documento legal na França ainda está em discussão. Sendo assim, a Lei das Águas de 1992 ainda está em vigência e é aquela seguida atualmente para a gestão de recursos hídricos nesse País. Seus princípios básicos são voltados às necessidades e aos meios para a proteção dos ecossistemas aquáticos, às possibilidades de suporte técnico-financeiro às comunidades locais e ao conteúdo dos programas de intervenção das agências de águas.

A autoridade denominada “*Polícia da Água*” exerce atividades de Estado em matéria de gestão de recursos hídricos, sendo responsável por autorizar e controlar os usos múltiplos das águas de forma a garantir a proteção dos corpos de água e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Conforme Chocat (1997), as atividades dessa autoridade são apoiadas em procedimentos de autorização ou declaração, aplicados a todos os projetos de empreendimentos que prevejam captações, lançamentos ou modificações no regime dos corpos de água. Devem ser submetidas a autorizações de uso, ainda, todas as instalações, obras ou atividades tratando de intervenções em recursos hídricos que indiquem qualquer risco à saúde ou à segurança pública, que prejudiquem o escoamento livre das águas, que incrementem o risco de inundações ou que perturbem a qualidade ou a diversidade do meio aquático.

A Tabela 4.2, de Chocat (1997) apresenta as principais intervenções em recursos hídricos ligadas ao desenvolvimento urbano e passíveis de autorização ou declaração da *Polícia da Água*.

**Tabela 4.2** – Principais intervenções em recursos hídricos ligadas à urbanização e sujeitas à análise da *Polícia da Água* (Chocat, 1997)

Tipo de Uso	Parâmetro verificado	Intervenções sujeitas a Declaração	Intervenções sujeitas a Autorização
Lançamento de efluentes de estações de tratamento de esgotos	Carga diária tratada em DBO <sub>5</sub> (Fp)	12 kg < Fp < 120 kg	Fp ≥ 120 kg
Lançamento de vertedores de cheias em sistemas de esgotamento sanitário e pluvial unitários	Carga diária no lançamento em DBO <sub>5</sub> (Fp)	12 kg < Fp < 120 kg	Fp ≥ 120 kg
Lançamento de águas pluviais em corpos de águas superficiais ou bacias de infiltração	Área total de projeto em ha (St)	1 < St < 20 ha	St ≥ 20 ha
Esgotamento de lodo de estações de tratamento de esgotos	Quantidade de lodo produzido anualmente (Qb)	Qb > 50.000m <sup>3</sup> Ou > 500 kg DBO <sub>5</sub> ou > 1 ton de nitrogênio	Qb > 500.000m <sup>3</sup> Ou > 5 ton DBO <sub>5</sub> ou > 10 ton de nitrogênio
Sistemas de drenagem de águas de escoamento pluvial	Custo das obras em milhares de reais <sup>1</sup> (Ct)	400 < Ct < 4.800	Ct ≥ 4.800
Impermeabilização de áreas	Área impermeável criada em ha (Sc)	Não há limite	Sc ≥ 5,0 ha

<sup>1</sup>Considerando a cotação de 1,00€ = 6,55957 FF (Francos franceses) e 1€ = R\$2,68, conforme [www.bcb.gov.br](http://www.bcb.gov.br) em 18/10/2006.

Para a solicitação de autorização os empreendedores devem apresentar estudo indicando os impactos da intervenção prevista nos ecossistemas aquáticos, na qualidade, quantidade e regime dos corpos de água e nos usos de recursos hídricos existentes na área de influência. O empreendedor deve apresentar, ainda, medidas corretivas ou compensatórias para diminuir os impactos da intervenção, bem como a compatibilidade do projeto com os princípios e critérios previstos no SDAGE (*Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux*) no SAGE (*Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux*).

O SDAGE corresponde ao Plano Diretor de Bacia Hidrográfica e é realizado para cada uma das grandes bacias em que a França é dividida. Ele objetiva fixar orientações fundamentais para a gestão integrada dos recursos hídricos, definir objetivos de quantidade e qualidade a serem atingidos e as ações necessárias para tal, incluindo seus custos de implementação. As decisões dos órgãos governamentais quanto à autorização para implantação de novos empreendimentos na bacia devem seguir os objetivos de qualidade e quantidade definidos no SDAGE, que atuarão como critérios limites. Os SDAGE devem conter, ainda, estudos como os de prevenção e gestão quanto aos riscos de inundação ou poluição acidental, gestão e proteção dos meios aquáticos e definição da política de gestão das águas subterrâneas, incluindo, neste último, o conhecimento dos usos existentes e a definição das regras para

exploração dessas águas. Esse Plano deve ser aprovado pelo Estado e deve ser adotado pelo comitê de bacia, com a implementação das ações previstas em seu horizonte de planejamento.

O SAGE é o documento de planejamento da gestão de recursos hídricos em nível de sub-bacia hidrográfica e é realizado para aquelas áreas em que é verificada a necessidade de realização de estudos mais detalhados. Sendo assim, no SDAGE elaborado para uma grande bacia, pode ser recomendada a elaboração de vários SAGE, com o foco na solução de problemas locais. Nessas sub-bacias, o SAGE deve fixar os critérios de utilização e intervenção nos corpos de água quanto a aspectos quantitativos ou qualitativos de forma a atender aos objetivos de proteção dos ecossistemas aquáticos.

Tratando das solicitações de autorização pelos empreendedores, os projetos devem conter, ainda, os meios e equipamentos previstos para monitoramento das alterações provocadas nos corpos de água e as medidas que seriam tomadas no caso de circunstâncias em que poderiam ser prejudicados usos para consumo humano. Os resultados do monitoramento devem ser mantidos à disposição dos representantes da *Polícia da Água*, para verificações frequentes.

No caso dos lançamentos de efluentes domésticos, os atos legais autorizativos fixam os limites de concentração de poluentes em função dos objetivos de qualidade dos corpos de água para os usos existentes ou previstos a jusante.

Especificamente quanto às águas pluviais, a lei de 1992 é o primeiro ato que ressalta preocupação quanto a seus aspectos qualitativos na França. Além da limitação de vazões máximas a jusante das áreas urbanas, definida em função de rendimentos específicos limites autorizados, essa lei dispõe sobre a necessidade de estabelecimento de concentrações máximas limites lançadas nos corpos de água, da mesma forma como definido para as águas advindas do sistema de esgotamento sanitário.

Os sistemas de drenagem urbana são sujeitos a autorizações ou declarações à *Polícia da Água*, sendo o seu enquadramento em função dos custos previstos para sua implantação. Tratando do lançamento difuso das águas pluviais escoadas em meio urbano e direcionadas para corpos de água superficiais ou bacias de infiltração, é afirmado como sujeito a autorização ou declaração, em função da área total de projeto, conforme já apresentado na Tabela 4.2.

Em síntese, a legislação francesa de recursos hídricos prevê as autorizações para a implantação de usos ou intervenções em corpos de água que prevejam a alteração na quantidade, qualidade ou regime dos corpos de água. Os principais critérios aplicados quanto



aos lançamentos de águas advindas do escoamento pluvial ou do esgotamento sanitário consistem na limitação de vazões e concentrações de poluentes, de forma a não apresentar riscos ou não prejudicar usuários a jusante.

No que se refere ao esgotamento sanitário, a limitação de concentração de poluentes leva à obrigação de implantação de estações de tratamento de esgotos para qualquer área urbana, antes que seja realizado o lançamento de novo efluente. Para os sistemas de drenagem de águas pluviais, é prevista a limitação de vazões e concentração de poluentes, esta última em função da capacidade de suporte dos corpos de água receptores. Esses limites são indutores à implantação de técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana, uma vez que essas técnicas podem levar ao rearranjo temporal de vazões, à redução dos volumes escoados e da concentração de poluentes nas águas lançadas nos corpos de água. Com efeito, conforme já apresentado no capítulo anterior, a França é um dos países em que pode ser verificado o estudo e a implantação das mais diversas técnicas compensatórias, com o incentivo advindo da legislação de recursos hídricos e dos limites determinados pelos planos diretores e seguidos pela *Polícia da Água*, quando da autorização de empreendimentos que levem à impermeabilização de áreas para urbanização.

#### **4.6- Critérios de outorga de direito de uso das águas**

##### **4.6.1- Critérios quanto a alterações na quantidade das águas**

Dentre as interferências em recursos hídricos sujeitas à outorga, podem ser apresentadas as captações de águas superficiais ou subterrâneas para insumo final ou consumo de processo produtivo, além de qualquer outro uso que altere a quantidade da água existente em um corpo de água.

No que se refere ao primeiro desses usos, ou seja, as captações de águas superficiais, boa parte dos estados já emite outorgas, com critérios específicos já definidos em legislação. Para esses usos são definidas vazões de referência como a  $Q_{7,10}$  (vazão mínima de 7 dias com 10 anos de recorrência) ou vazões de permanência com 90 ou 95% no tempo ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ , etc). A partir da definição das vazões de referência, são estabelecidos percentuais máximos outorgáveis, mantendo-se o restante como remanescente no curso de água. Sendo assim, as demandas solicitadas para usos em qualquer finalidade são verificadas quanto ao seu enquadramento dentro de percentuais outorgáveis.

Tratando da exploração de águas subterrâneas, não há critérios específicos estabelecidos por meio de vazões de referência ou mesmo uma metodologia de análise consolidada para os órgãos gestores estaduais. Vale ressaltar que essas águas são de domínio estadual não sendo, portanto, emitidas outorgas de águas subterrâneas pela ANA. Conforme ANA (2005), alguns dos estados analisam esses pedidos de outorga com base apenas na análise de testes de bombeamento dos poços, realizados pelos próprios requerentes, por períodos mínimos exigidos de 24 horas. Para aqueles aquíferos cujos estados possuem mais informações técnicas, as análises são realizadas com a verificação das vazões solicitadas em função da média da capacidade específica do aquífero, utilizando informações de precipitação anual e das áreas de recarga.

Para essas interferências como captações superficiais ou subterrâneas, alguns dos órgãos gestores de recursos hídricos possuem, ainda, definições de critérios para os usos considerados insignificantes. Essas definições foram realizadas por meio de decretos, resoluções, deliberações ou portarias dos próprios órgãos ou dos respectivos conselhos de recursos hídricos e são, na maior parte das vezes, relacionadas às vazões máximas de captação.

A Tabela 4.3 apresenta os critérios adotados para captações superficiais e para vazões consideradas insignificantes pela maior parte dos órgãos gestores de recursos hídricos que já emitem outorgas, juntamente com as definições legais existentes (ANA, 2005).

No entanto, na pesquisa realizada não foi verificado nenhum órgão gestor de recursos hídricos com critério ou procedimento de análise de pedidos de outorga para outros usos que alterem a quantidade da água existente em um corpo de água. Nesse caso, pode ser inserida a urbanização, uma vez que, com a impermeabilização de áreas que seriam de recarga de aquíferos, podem ser reduzidos, de forma sensível, os volumes acumulados nos aquíferos que estariam disponíveis para a exploração de águas subterrâneas.

Apesar de não serem, ainda, analisadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos, a urbanização e a implantação de sistemas de drenagem urbana podem afetar de forma relevante a quantidade de água disponível nos corpos de água subterrâneos e, conseqüentemente, nos superficiais, conforme apresentado nos capítulos anteriores. Esse fato pode levar à necessidade de estabelecimento de critérios para avaliação das interferências causadas por esses empreendimentos.

**Tabela 4.3 – Critérios adotados para outorga de captação de águas superficiais e vazões consideradas insignificantes (ANA 2005)**

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável	Limites máximos de vazões consideradas insignificantes	Legislação referente à definição das vazões insignificantes
ANA	70% da $Q_{95}$ podendo variar em função das peculiaridades de cada região. 20% para cada usuário individual	Não existe, em função das peculiaridades do País, podendo variar o critério.	1,0 L/s	Resolução ANA 542/2004
SRH-BA	80% da $Q_{90}$ 20% para cada usuário individual	Decreto Estadual 6.296/97	0,5 L/s	Decreto Estadual 6.296/97
SRH-CE	90% da $Q_{90reg}$	Decreto Estadual nº 23.067/94	2,0 m <sup>3</sup> /h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual nº 23.067/94
SEMARH-GO	70% da $Q_{95}$	Não possui legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água. Para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo.	Portarias do IGAM nº 010/98 e 007/99.	1,0 L/s para a maior parte do Estado e 0,5 L/s para as regiões de escassez (águas superficiais) 10,0m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas)	Deliberação CERH-MG nº 09/2004
AAGISA-PB	90% da $Q_{90reg}$ . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.	Decreto Estadual 19.260/1997	2,0 m <sup>3</sup> /h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas)	Decreto Estadual 19.260/1997
SUDERHSA-PR	50% da $Q_{95}$	Decreto Estadual 4646/2001	1,0 m <sup>3</sup> /h (0,3 L/s)	-
SECTMA-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica.	0,5 l/s ou 43 m <sup>3</sup> /dia (águas superficiais) 5,0m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas para abastecimento humano)	Decreto Estadual 20.423/98
SEMAR-PI	80% da $Q_{95}$ (Rios) e 80% da $Q_{90reg}$ (Açudes)	Não existe legislação específica.	Não estão ainda definidos	-
SERHID-RN	90% da $Q_{90reg}$	Decreto Estadual Nº 13.283/97	1,0 m <sup>3</sup> /h (0,3 L/s)	Decreto Estadual Nº 13.283/97
SEMA-RS	Não está definido	-	Media mensal até 2,0m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 42047/2002
DAEE-SP	50% da $Q_{7,10}$ por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da $Q_{7,10}$ .	Não existe legislação específica.	5,0m <sup>3</sup> /dia (águas subterrâneas)	Decreto Estadual 32.955/91
SEPLANTEC-SE	100% da $Q_{90}$ 30% da $Q_{90}$ para cada usuário individual	Não existe legislação específica	2,5m <sup>3</sup> /h (0,69 L/s)	Resolução Nº 01/2001
NATURATINS-TO	75% $Q_{90}$ por bacia. Individualmente o máximo é 25% da mesma $Q_{90}$ . Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada.	Decreto estadual já aprovado pela Câmara de outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.	0,25L/s ou 21,60m <sup>3</sup> /dia. A minuta de regulamentação aprovada deve alterar para 1,0L/s ou 21,60m <sup>3</sup> /dia	Portaria NATURATINS nº 118/2002

#### 4.6.2- Critérios quanto a alterações na qualidade das águas

Conforme legislação de recursos hídricos, são sujeitos à outorga os seguintes usos de águas:

- Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Outros usos que alterem a qualidade da água existente em um corpo de água.

Para a análise dos pedidos de outorga referentes a esses usos, é necessária a definição de critérios para a qualidade dos efluentes a serem lançados e aquela que deverá ser mantida no corpo de água após a sua diluição. Para o lançamento de efluentes domésticos ou industriais, os critérios estão definidos, em nível federal, pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Essa Resolução trata da revisão do primeiro documento desse Conselho sobre esse tema, a Resolução CONAMA nº 020/86.

Após a emissão da primeira resolução, alguns estados seguiram o mesmo caminho e editaram resoluções ou deliberações normativas com os critérios para lançamentos de efluentes em corpos de água. Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM/MG nº 010/86 define tais critérios. A Tabela 4.4 apresenta alguns parâmetros e os critérios definidos para as concentrações máximas permissíveis nos efluentes lançados em corpos de água da União e de alguns estados (von Sperling, 1998 e Resolução CONAMA nº357/2005).

**Tabela 4.4** – Padrões de lançamento definidos por alguns estados e pela União (von Sperling, 1998 e Resolução CONAMA nº357/2005)

Parâmetro	Resolução CONAMA nº 357/2005	Minas Gerais	Rio Grande do Sul	São Paulo	Rio de Janeiro
pH (intervalo)	5 a 9	6 a 9	6 a 8,5	5 a 9	5 a 9
Óleos e Graxas (minerais) (mg/L)	20	20	10	20	20
Óleos e Graxas (veg/animais) (mg/L)	50	50	30	50	30
Sólidos em suspensão (mg/L)	-	60,0	-	-	-
DBO <sub>5,20</sub> (Max mg/L)	-	60	Variável	60	Variável
DQO (Max mg/L)	-	90	-	-	-
Cobre (Max mg/L)	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5
Chumbo (Max mg/L)	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5
Zinco (Max mg/L)	5,0	5,0	1,0	5,0	1,0

Para a outorga para lançamento de efluentes em corpos de água superficiais são realizadas duas análises principais: a primeira trata da verificação se os padrões de lançamento de efluentes estão inseridos dentro dos limites preconizados pela legislação federal ou dos

estados; a segunda análise trata da observação da classe em que o corpo de água está enquadrado e da disponibilidade hídrica para a diluição daquele efluente lançado.

Para essa análise, deve ser realizada articulação entre os órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente, uma vez que estes últimos também analisam, no licenciamento ambiental, parâmetros referentes aos efluentes lançados de empreendimentos.

Atualmente, conforme ANA (2005), a outorga de direito de uso de recursos hídricos referente a aspectos qualitativos é emitida apenas pelos órgãos gestores dos estados da Bahia e de São Paulo, além da própria ANA. E mesmo as análises realizadas em cada um desses estados ou órgãos de recursos hídricos verificam aspectos distintos. A ANA e a SRH-BA verificam o atendimento à classe de enquadramento enquanto em São Paulo, o órgão gestor de recursos hídricos (DAEE/SP – Departamento de Águas e Energia Elétrica) verifica apenas aspectos quantitativos e o órgão ambiental (CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) faz a análise de questões qualitativas. No Rio Grande do Sul, há outra particularidade uma vez que a Política Estadual de recursos hídricos prevê que o órgão ambiental (FEPAM/RS – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler) é o responsável pelas análises qualitativas, verificando, atualmente, os padrões de lançamento de efluentes domésticos e industriais.

Entretanto, apesar de haver critérios estabelecidos para outorga do lançamento de efluentes industriais e domésticos, eles não são considerados para análise de lançamento das águas pluviais em corpos de água. As informações apresentadas nos capítulos anteriores demonstram que as águas pluviais em meio urbano podem ter alguns poluentes em concentrações bastante elevadas, às vezes até superiores às dos efluentes domésticos ou industriais. Sendo assim, em função de suas alterações provocadas na qualidade dos corpos de água, o lançamento dessas águas deve ser precedido de solicitação de outorgas de direito de uso, devendo ser buscada a determinação de critérios técnicos para sua análise.

#### **4.6.3- Critérios quanto a alterações no regime dos corpos de água**

Segundo os usos sujeitos à outorga de direito de uso de recursos hídricos estão aqueles que alterem o regime existente de um corpo de água. Conforme ANA (2002), o regime hidrológico dos corpos de água superficiais trata do:

- Comportamento do leito de um rio durante um certo período, levando em conta os seguintes fatores: descarga sólida e líquida, largura, profundidade, declividade, formas dos meandros e progressão do movimento da barra, etc.;
- Modelo padrão de distribuição sazonal de um evento hidrológico, por exemplo, vazão.

Nesse sentido, dentre os usos de recursos hídricos que alterem o regime de um corpo de água podem ser consideradas estruturas para transposição de níveis como eclusas ou aquelas para garantia de tirante mínimo para navegação, algumas dragagens ou o desassoreamento de cursos de água, a retificação, canalização, desvios, ou as obras de macrodrenagem advindas de projetos de urbanização de áreas. Reservatórios para perenização de vazões ou para controle de cheias também podem ser incluídos entre esses usos de recursos hídricos que alteram o regime de um corpo de água.

No entanto, em pesquisa realizada consultando técnicos de diversos órgãos gestores de recursos hídricos não foram verificados critérios técnicos existentes para emissão das outorgas com essas finalidades. Sendo assim, há a necessidade de estudos visando à proposição de critérios de outorga para esses usos.

No caso dos empreendimentos de urbanização e das conseqüentes obras de drenagem urbana, os critérios poderão ser propostos com base nas alterações proporcionadas nos parâmetros hidráulicos e hidrológicos dos corpos de água.

#### **4.7- Conclusões**

Este capítulo apresenta os principais documentos legais existentes em nível nacional e estadual quanto aos recursos hídricos e as interferências causadas pela urbanização, enfocando, principalmente, os aspectos relacionados à outorga de direito de uso de recursos hídricos. Na pesquisa bibliográfica realizada, foram analisadas, ainda, as leis de recursos hídricos de alguns países no tocante à necessidade de documentos autorizativos para empreendimentos de urbanização.

Quanto às legislações estaduais e à federal, foi considerado que todas têm a previsão para outorga para urbanização, por se tratar de um empreendimento que pode levar a alterações na quantidade, qualidade e regime dos corpos de água. No entanto, foi observado, ainda, que nenhum dos órgãos gestores emite outorgas, ainda, com essa finalidade, podendo ser considerado como um dos motivos, a falta de procedimentos ou critérios técnicos definidos. A

regulamentação desses procedimentos e critérios pode levar à redução de problemas de inundações e doenças de veiculação hídrica causadas pelas inundações ou pela poluição dos corpos de água em função do lançamento das águas pluviais. Nesse sentido, há a necessidade da realização de estudos para avaliar a possibilidade de definição de procedimentos viáveis de aplicação na outorga, além de definir e propor critérios de análise, que poderão subsidiar a autorização ou não de determinada alternativa de projeto.

Em relação às análises das legislações de recursos hídricos de alguns outros países, foi observada a previsão legal de documentos autorizativos para urbanização na Argentina, no México e na Comunidade Européia. Para cada um desses, são previstos estudos e restrições diferentes para autorizar determinado empreendimento de urbanização, com a implantação de sistemas de drenagem.

Por fim, foi verificado que a maior parte dos órgãos gestores de recursos hídricos possui critérios técnicos apenas para a emissão de outorgas relacionadas a captações de águas superficiais ou subterrâneas e poucos órgãos outorgantes emitem autorizações para lançamento de efluentes. Além disso, não há uma harmonização dos critérios de outorga no País, sendo utilizadas vazões de referência e percentuais outorgáveis diversos. Em relação aos empreendimentos que alterem o regime de corpos de água, nenhum dos órgãos gestores possui, ainda, critérios definidos para análise e decisão quanto ao deferimento ou não de determinado empreendimento.

Uma vez verificada a necessidade de proposição de uma metodologia para avaliação de empreendimentos para a finalidade de urbanização, considerando a questão da drenagem urbana, o próximo capítulo apresentará a análise da utilização de indicadores e das metodologias possíveis de agregação, visando à verificação de possibilidade de sua aplicação na proposição a ser realizada.





## **5- AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PROJETO**

### **5.1- Considerações Iniciais**

No terceiro capítulo, foram apresentados os impactos causados pela urbanização e pela implantação das técnicas de drenagem urbana nos corpos de água. Posteriormente, no quarto capítulo, foi realizada a análise da legislação de recursos hídricos pertinente, mostrando a necessidade de avaliação e tomada de decisão, por parte dos órgãos gestores de recursos hídricos, quanto à viabilidade de implantação dos empreendimentos de desenvolvimento urbano.

Uma vez que essa avaliação deverá considerar aspectos relacionados às alterações causadas na qualidade, quantidade e regime dos corpos de água, serão utilizados indicadores e será escolhida uma metodologia de agregação. Para essa atividade, foi imprescindível aprofundar o conhecimento referente aos conceitos vinculados à utilização de indicadores, bem como compreender as diversas metodologias existentes para a avaliação de alternativas de projeto.

### **5.2- Utilização de indicadores**

#### **5.2.1- Introdução**

Os indicadores são componentes essenciais no estudo global do progresso, em relação ao desenvolvimento sustentável, tendo sido aplicados com grande frequência nos últimos anos. No entanto, há diversas definições conhecidas para eles, sem um consenso entre os estudiosos na área. Pode-se perceber ambigüidade e algumas contradições dentre as diversas conceituações existentes. Entretanto, algumas definições para o termo “indicador” podem ser citadas como mais utilizadas, dentro da comunidade científica:

- uma variável ligada hipoteticamente à variável estudada e que não pode ser diretamente observada (Chevalier *et al.* 1992);
- uma medida que resume as informações relevantes a um fenômeno particular, ou a uma aproximação razoável para o valor desta medida (Mc Queen e Noak, 1988);
- um parâmetro ou valor derivado de parâmetros que fornece informações sobre o estado de um fenômeno, com significância superior àquela diretamente associada àquele parâmetro (OECD, 1993, que ainda define parâmetro como uma propriedade medida ou observada).

Segundo pesquisa bibliográfica realizada por Moldan e Bilharz (1997), o termo indicador já foi definido como sendo uma variável, um parâmetro, uma medida, uma medida estatística, um valor, um instrumento de medição, um índice ou até uma fração em que é comparada uma quantidade (numerador), com um valor medido ou calculado cientificamente (denominador).

Destes, o termo que encontra maior aceitação é uma variável. Qualquer variável “indica” um atributo, que não é, necessariamente, um objeto real, e sim uma abstração ou imagem do atributo. Quanto melhor a variável refletir o atributo e quanto mais significativa e relevante for essa informação para a tomada de decisão, mais bem escolhido terá sido aquele indicador para o propósito definido.

Nesse contexto, qualquer variável assume um significado referente ao seu valor, superior àquele obtido diretamente a partir de observações. É importante perceber que uma variável associada a um atributo de interesse fundamental para um processo de tomada de decisão é muito mais útil como indicador que uma variável associada a uma característica superficial ou isolada do sistema estudado.

A mais importante característica dos indicadores em relação a outras formas de informação é a sua grande relevância para uma determinada política de tomada de decisão. Nesse sentido, para que os indicadores possam ser relevantes, os atributos representados por eles devem ser considerados importantes pelos decisores e pela comunidade.

Segundo Moldan e Bilharz (1997), os indicadores desejáveis são aqueles que resumem ou simplificam informações, quantificando, medindo ou comunicando dados, de forma a tornar um determinado fenômeno compreensível por todos.

Os indicadores podem desempenhar várias funções, sendo as principais, as seguintes (adaptado de Tunstall 1992 e 1994):

- Estudar condições e tendências;
- Comparar lugares, situações ou alternativas;
- Proporcionar antecedência ao advertir sobre algum efeito ou impacto de uma ação;
- Prever futuras condições e tendências.

## **5.2.2- Indicadores e seus conceitos relacionados**

Os indicadores podem ser variáveis simples ou funções de várias variáveis. Essas funções podem ser tão simples como uma razão, proporção ou um índice, dependendo de duas ou mais variáveis, ou tão complexas como o resultado de simulações por meio de modelos.

Os valores dos indicadores podem ser observados, calculados ou medidos diretamente na fonte. No entanto, na maioria das vezes, são derivados de dados primários processados e analisados, formando valores agregados que vão funcionar como indicadores.

Em princípio, os indicadores são construídos a partir de informações já disponíveis ou que podem ser obtidas a um custo razoável. Por isso, inevitavelmente, segundo Moldan e Bilharz (1997), os indicadores são tendenciosos em dois sentidos: a disponibilidade de informações é maior em países ricos que em países em desenvolvimento e fatores relacionados a aspectos ambientais são pouco representados em relação ao total das informações coletadas rotineiramente.

Isso ocorre, em grande parte das vezes, devido ao custo de coleta e processamento de informações poder se tornar uma restrição à construção e análise de indicadores. Esse fato torna ainda mais importante na análise a fase de proposição de indicadores, de forma a que sejam evitadas a procura e a pesquisa por dados desnecessários.

## **5.2.3- Características dos indicadores**

### 5.2.3.1- Indicadores quantitativos e qualitativos

A maior parte das definições para indicadores exclui a possibilidade de indicadores qualitativos. No entanto, apesar do fato de que uma das principais características dos indicadores é a quantificação de um atributo, Moldan e Bilharz (1997) afirmam que um indicador pode ser uma variável qualitativa (nominal), uma variável de classificação (ordinal) ou uma variável quantitativa. Em pelo menos dois casos, os indicadores qualitativos são preferíveis:

- Quando a informação quantitativa não estiver disponível;
- Quando o atributo de interesse for inerentemente não quantificável.

#### 5.2.3.2- Necessidade de interligações entre os indicadores

Problemas complexos como os associados ao desenvolvimento sustentável ou ao planejamento de recursos hídricos requerem proposições e soluções integradas. Segundo Moldan e Bilharz (1997), há casos em que se verifica a necessidade de ir além do usual, com a construção de listas através de indicadores individuais que são estudados e analisados até formar conjuntos de indicadores integrados ou interligados.

As ligações podem existir entre variáveis dentro de um mesmo subsistema ou entre subsistemas diferentes (por exemplo, entre aspectos econômicos e ambientais). O reconhecimento da existência dessas ligações realça as limitações dos procedimentos usuais, como soma ou média, para agregar diversos indicadores em um mesmo índice.

É necessário então, que na etapa de estudos para a proposição dos indicadores a serem utilizados na análise, seja construído um “modelo”, com as relações existentes entre eles. A partir desse modelo, os indicadores são relacionados com a finalidade de serem definidos conjuntos afins e assim simplificar a obtenção de dados e análise.

#### 5.2.3.3- Não limitação à variação temporal

Na maioria dos casos, o maior interesse na avaliação de alternativas através da utilização de indicadores é estudar mudanças ao longo do tempo, como tendências ou condições futuras. No entanto, os indicadores usados para esses estudos podem ter outras propriedades, como a variação ao longo do espaço ou da população analisada, por exemplo. Apesar da análise das variações ao longo do tempo dever ser sempre utilizada, é importante que o tempo não seja a única variável utilizada para efeito de análise.

#### 5.2.3.4- Integração do julgamento dos analistas nos valores dos indicadores.

Segundo Moldan e Bilharz (1997), o termo “valor” adotado para um indicador pode ter dois sentidos. O primeiro refere-se ao valor relativo, utilidade ou importância daquela variável, dependendo, principalmente, do julgamento dado pelos analistas. O segundo ao estado da variável no contexto do sistema, mensurável a partir de observações, medidas, cálculos ou inferências.

O julgamento a que se refere o primeiro sentido é feito de forma subjetiva através de valores implícitos ou explícitos aos indicadores. Os valores explícitos são aqueles adotados conscientemente, compreendidos principalmente em parte da base dos indicadores criados. Os valores implícitos são baseados em fatores que não estão muito claros, uma vez que são, em

sua maioria, subscientes e relativos a características sociais ou pessoais. É difícil determinar a influência desses valores implícitos no julgamento de um determinado conjunto de indicadores ou o possível efeito nos resultados da avaliação global. Portanto, dependendo de sua subjetividade, é possível prever a participação de valores implícitos nos valores de um determinado indicador.

Nesse sentido, é sempre importante reconhecer, mais uma vez, que qualquer indicador ou conjunto de indicadores é, de alguma forma, tendencioso.

#### **5.2.4- Uso dos indicadores**

A principal finalidade dos indicadores é de ajudar e aperfeiçoar o processo de tomada de decisão em diferentes níveis. Os usuários dos indicadores podem variar bastante socialmente, geograficamente ou culturalmente, dependendo da escala do empreendimento em estudo. Um dos importantes aspectos a serem considerados na construção e desenvolvimento dos indicadores trata de fazer com que eles sejam apropriados, aceitáveis e conclusivos aos olhos da comunidade envolvida e afetada pelo empreendimento.

Outro aspecto importante a ser lembrado é o fato de que os indicadores podem ser também meios de comunicação. Uma vez que qualquer forma de comunicação requer o seu entendimento por toda comunidade envolvida no processo, os indicadores devem ser transparentes, de forma que seus valores e significados possam ser entendidos e discutidos por todos.

Alguns autores propõem determinados requisitos básicos desejáveis que os indicadores devem seguir, quando possível, de forma que possam ser considerados práticos e úteis (Adriaanse, 1993; OECD, 1993; Tunstall, 1994). Os principais desses requisitos são listados abaixo:

- 1- Os valores dos indicadores têm de ser mensuráveis (ou pelo menos observáveis);
- 2- Os dados têm de estar disponíveis ou podem ser obtidos por meio de medidas, cálculos, observações ou atividades de monitoramento;
- 3- A metodologia para a coleta e o processamento de dados e construção dos indicadores deve ser clara, transparente e padronizada;
- 4- Os meios para a construção e monitoramento dos indicadores devem ser disponíveis, incluindo-se aí meios financeiros, humanos e capacitação técnica;
- 5- Os indicadores ou conjuntos de indicadores devem poder ser obtidos a um custo razoável;

6- Os indicadores devem ser aceitáveis no nível apropriado ao estudo (local, nacional ou internacional);

7- A participação e o suporte pelo público na utilização dos indicadores são desejáveis.

### 5.2.5- Alguns estudos propondo indicadores

Para suporte à proposição de indicadores, foram pesquisados, predominantemente, estudos desenvolvidos com indicadores propostos relacionados aos recursos hídricos e à hidrologia urbana.

Kolsky e Butler (2002) apresentaram possíveis indicadores e discutiram perspectivas conceituais e práticas no desenvolvimento de indicadores para avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana. Os autores dividiram os possíveis indicadores em três tipologias diferentes e apresentaram vantagens e desvantagens de cada, conforme Tabela 5.1.

**Tabela 5.1-** Tipologias de indicadores e medidas apresentadas por Kolsky e Butler (2002)

Tipo de Indicador	Exemplos de Possíveis indicadores	Vantagens	Desvantagens
Medidas de desempenho	<ul style="list-style-type: none"><li>• Profundidade</li><li>• Área</li><li>• Duração da Inundação</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Medidas diretas obtendo o resultado que o decisor precisa saber</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dificuldade para medir</li><li>• Avaliação sazonal</li><li>• Não há ligação clara com as decisões a serem tomadas</li></ul>
Indicadores de desempenho	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nível de sólidos</li><li>• Capacidade de escoamento das estruturas</li><li>• Nível de Bloqueio dos escoamentos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Relativamente fáceis de medir</li><li>• Ligação mais direta com a ação a ser tomada que as medidas de desempenho</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Relações não claras com os resultados que o decisor precisa</li><li>• Mede os sintomas, mas não a causa do problema.</li></ul>
Indicadores de processo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Frequência de limpeza das ruas</li><li>• Tempo dos profissionais gasto nas operações</li><li>• Orçamento</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Relativamente fáceis e práticas</li><li>• Podem se tornar rotina</li><li>• Ligação mais clara com as ações a serem tomadas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Relações não claras com os resultados que o decisor precisa</li></ul>

Geerse e Lobbrecht (2002) apresentaram os indicadores propostos e aplicados para avaliação do sistema de saneamento e drenagem da cidade de Rotterdam, na Holanda. Seus indicadores foram divididos em função do período seco ou do período chuvoso. No período chuvoso foram avaliados três aspectos sendo aplicados indicadores para cada um deles, a saber:

- Prevenção de enchentes: Saúde e segurança das pessoas e perdas materiais devido às inundações;
- Ecologia, natureza e recreação: redução de poluição nas águas superficiais, canais e lagoas, cursos de água principais, descarga de poluentes;

- Gerenciamento dos sistemas de água (operacional): redução dos custos de operação, redução da sedimentação nas galerias, redução de problemas de odor.

Os indicadores propostos para o período seco foram relacionados com a operação do sistema de esgotamento sanitário e a estação de tratamento de efluentes, avaliando o tempo de troca de bombas, a eficiência das estações de bombeamento, as concentrações de poluentes no efluente que atinge a estação de tratamento e o nível da água nas lagoas de decantação. Seus indicadores foram concluídos como eficientes, apesar de necessitar de refinamentos e o monitoramento foi verificado como essencial, sendo instalados equipamentos para observação em tempo real das informações necessárias para os indicadores.

Kondratyev *et al.* (2002) aplicaram indicadores propostos pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável da ONU (CSD, 1995) para avaliar a situação do lago Ladoga, o maior da Europa e responsável pelo abastecimento da cidade de São Petersburgo na Rússia, além do recebimento de suas águas de esgotamento sanitário e pluvial. Os indicadores aplicados foram de pressão (volume anual explotado de águas subterrâneas em função da disponibilidade hídrica; volume anual de captação de águas superficiais em função da disponibilidade hídrica com 95% de garantia e consumo doméstico per capita em litros por pessoa por dia), estado (reserva de águas subterrâneas; classe do corpo de água em função da concentração de coliformes fecais e classe do corpo de água em função da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5</sub>) e resposta (volume total de descarga anual de águas residuárias – IR1; volume total anual tratado das águas residuárias – IR2; volume total não tratado das águas residuárias – IR3; IR2/IR1, IR3 /IR1, IR3/IR2 e densidade de rede de monitoramento hidrológico e de qualidade). Os indicadores foram aplicados com informações dos anos de 1990, 1995, 1996, 1997 e 1998, para avaliar a sua variação e da situação da bacia.

Os resultados da análise realizada com os indicadores foram relevantes aos autores para verificar que a bacia hidrográfica contribuinte ao lago está em situação longe da crítica em função da redução da atividade industrial da Rússia na região. Os indicadores foram adequados para mostrar melhorias na situação da bacia, apesar de não terem ocorrido mudanças nos sistemas de tratamento de efluentes. No entanto, os autores verificaram a necessidade de novos indicadores, tendo sugerido a avaliação de cargas externas ao lago e sua relação com a carga limite crítica que o lago poderia suportar, além do indicador biológico referente ao número e diversidade de espécies animais e vegetais no lago.

Ribeiro (2005) propôs um Índice para avaliar o desempenho da Política Pública de Meio Ambiente, baseado em indicadores referentes aos aspectos água, biodiversidade, ar, solo, institucional e sócio-econômico. Os indicadores propostos foram aplicados em Minas Gerais para a avaliação da Política de Meio Ambiente utilizada no período de 1977 a 2003. Os indicadores aplicados foram relevantes para mostrar que o modelo denominado “comando e controle”, especialmente adotado na Política de Meio Ambiente, encontra limitações face à fragilidade do aparelho do Estado, aos interesses econômicos e à condescendência dos governantes. Ao mesmo tempo, pôde ser verificada sua contribuição para a melhoria ambiental, com o controle das grandes fontes de poluição.

Barrera-Roldán e Saldívar-Valdés (2002) propuseram um conjunto de indicadores para avaliar o desenvolvimento urbano e aplicaram em sete cidades em uma região industrializada do México. Os indicadores propostos foram para avaliar os aspectos econômicos, sociais e ambientais e tiveram valores variáveis entre 0 e 1, correspondendo o valor nulo aos piores resultados e os melhores obtendo valor unitário. Para avaliação dos aspectos ambientais foram propostos indicadores relacionados aos seguintes temas: balanço hídrico das cidades, qualidade da água de abastecimento, qualidade do ar, mudança da cobertura vegetal, uso do solo, erosão, contribuição da vegetação para o oxigênio, habitat ecológicos e áreas protegidas.

Posteriormente, seus indicadores foram agregados por meio de método multicritério, obtendo resultado global também variável entre 0 e 1 para cada município. Segundo os autores, a metodologia aplicada foi relevante para mostrar o problema social como um dos principais problemas dessas municipalidades, apesar de não ser eficiente para relacionar a urbanização implantada com o desenvolvimento sustentável. Entretanto, sugeriram sua aplicação para a mesma região em tempos diferentes para verificar se a região está ou não no caminho em direção ao desenvolvimento sustentável.

OFWAT e EA (2001) propuseram indicadores para a avaliação dos sistemas de esgotamento sanitário e drenagem urbana no Reino Unido com vistas a aspectos ambientais e de atendimento a consumidores. Os indicadores foram divididos em função de serem relacionados com infra-estrutura ou não, considerando, no primeiro caso, os sistemas de drenagem e coletores de esgotos e, no segundo, as estações de bombeamento, tratamento de efluentes e disposição de lodo.

No que se refere ao coletores de esgotos, os indicadores propostos foram relacionados ao risco de colapso e de falha dos equipamentos devido ao funcionamento normal ou a eventos



extremos. Para os sistemas de drenagem, o único indicador proposto trata de sistemas unitários de esgotamento sanitário e drenagem, sendo relacionado à condição das estruturas com a ocorrência de transbordamentos. Para os itens não considerados como infra-estrutura, os indicadores propostos foram relacionados a probabilidade de falha e aos custos operacionais e de manutenção.

O estudo desenvolvido por Matos *et al.* (2003) apresenta os 182 indicadores propostos pela IWA – *International Water Association* - para avaliação do desempenho dos sistemas de saneamento e drenagem urbana. Os indicadores propostos foram quanto aos aspectos financeiros (45), de qualidade do serviço (29), físicos (12), ambientais (15), operacionais (56) e relacionados ao trabalho dos funcionários (25) das empresas responsáveis pelos sistemas municipais de saneamento e drenagem. Especificamente, quanto aos aspectos ambientais, dentre os 15 indicadores propostos, 10 foram relacionados aos rejeitos sólidos e os outros cinco foram ligados ao sistema de esgotamento sanitário e pluvial: população servida pelo sistema de saneamento, volume reutilizado de efluente tratado, número e volume total anual de transbordamentos ocorridos na estação de tratamento de efluentes, sendo que esse volume é relacionado com o número de transbordamentos e com o volume total precipitado na área, sendo válido apenas para sistemas unitários de esgotamento sanitário e pluvial.

Azzout (1996) propôs indicadores e metodologia para a escolha de técnicas de drenagem alternativas e arranjos possíveis de serem aplicados para uma área de projeto em função de objetivos e interesses dos decisores e das características técnicas da área, como tipo de solo, da bacia hidrográfica e forma da precipitação. Sua metodologia foi aplicada em um estudo de caso na região de Bordeaux, na França, com o apoio do método multicritério Electre III, para a seleção do melhor arranjo de drenagem para a área.

No estudo de Castro (2002), foram propostos indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana, considerando o objetivo principal da obra, bem como aspectos sociais, ambientais e sanitários. Os indicadores foram agregados por meio de métodos multicritério e aplicados em dois estudos de caso no Brasil e um na França para a seleção de alternativas de projeto. Posteriormente, Moura (2004) agregou à sua metodologia um indicador financeiro referente aos custos de implantação, manutenção e operação das obras de drenagem urbana, aplicando às mesmas áreas, também com o apoio de métodos de análise multicritério.

Especificamente para bacias de infiltração, Dechesne *et al.* (2004b) propuseram indicadores de contexto e de desempenho para avaliar sua situação quanto a efeitos de colmatção e

poluição do solo. Os indicadores foram divididos em função do desempenho hidráulico e de retenção de poluentes. No que se refere ao desempenho hidráulico, foram propostos indicadores para avaliação dos seguintes aspectos: colmatção, duração da infiltração das águas que atingem a bacia, frequência de transbordamento da bacia e longevidade projetada. Para a avaliação da retenção de poluentes, foram propostos os seguintes indicadores: nível de poluentes encontrados no solo da bacia, eficiência de retenção de poluentes e eficiência de filtração de partículas. Os indicadores propostos foram aplicados em cinco bacias de infiltração localizadas em Lyon, na França tendo sido considerados confiáveis e representativos do comportamento operacional dessas bacias.

Taylor (2005) apresentou metodologia baseada em indicadores financeiros, sociais e ambientais criados para a avaliação de projetos pelos órgãos responsáveis pelos sistemas de drenagem para a escolha de projetos a serem financiados na Austrália. A metodologia é dividida em três níveis de aplicação, em função do porte dos custos e impactos previstos para o empreendimento: básico, intermediário ou completo. No que se refere aos indicadores para a avaliação dos aspectos ambientais, estes são voltados a aspectos ecológicos relacionados à manutenção dos ecossistemas aquáticos e aos efeitos dos materiais usados na construção, manutenção e operação do sistema de drenagem.

Martin *et al.* (2006) apresentaram metodologia para a avaliação do desempenho de técnicas compensatórias de drenagem urbana baseada em indicadores técnicos, hidráulicos, ambientais, sociológicos, de planejamento, econômicos e de operação e manutenção. Seus indicadores foram de análise subjetiva, com base em perguntas do tipo: diminuem o risco de inundações?; diminuem o escoamento superficial?; ou preservam a qualidade das águas? Foram propostas quatro respostas possíveis e que depois seriam transformadas em valores: de jeito nenhum, geralmente não, de alguma forma e inteiramente. Os indicadores foram aplicados em entrevistas a órgãos governamentais e privados responsáveis pela gestão de sistemas de drenagem na França e agregados por meio de método multicritério gerando, como resultado a classificação das técnicas de drenagem segundo os interesses dos consultados.

### **5.3- Métodos para a Avaliação de Alternativas**

#### **5.3.1- Introdução**

O termo avaliação pode ser definido, segundo Lichfield *et al.* (1975), como o processo de análise de um determinado número de planos ou projetos, com a finalidade de definir suas vantagens e desvantagens, colocando-as de uma forma que possam ser comparados.

Avaliação não pode ser confundida com tomada de decisão; significa sim, um processo que deve dar as principais ferramentas e fornecer informações que vão ajudar na ação de tomada de decisão.

A análise de alternativas de projeto deve ser muito mais que apenas a comparação de critérios técnicos ou econômicos. Questões políticas, sociais e ambientais, além de outras que forem relevantes ao processo, podem ser consideradas, de forma a torná-la mais abrangente e consistente. A presente pesquisa visa a uma metodologia para a avaliação dos efeitos de um projeto de desenvolvimento urbano nos corpos de água. Nesse sentido, devem ser considerados todos os aspectos relacionados a essas interferências nas análises a serem realizadas.

A avaliação deve ser desenvolvida a partir de conjuntos de valores calculados para os diversos aspectos a serem comparados dentre as possíveis alternativas de projeto. Esses aspectos vão depender do objetivo principal da obra, da formação e dos interesses dos participantes e decisores presentes no processo.

No caso da avaliação de empreendimentos privados, por exemplo, cujo objetivo principal é uma boa alternativa de investimento, devem ser considerados principalmente, segundo Harada e Cordeiro Netto (1999), critérios econômicos e financeiros. A alternativa a ser escolhida deverá ser, dentre as que atingirem os critérios técnicos de projeto, a que obtiver maior rentabilidade, além de melhor se adaptar à conjuntura vivida pelo investidor.

Para empreendimentos governamentais, cuja maior importância deve ser dada aos aspectos sociais, o processo de avaliação se mostra mais complexo. Nesses casos, ainda segundo Harada e Cordeiro Netto (1999), a rentabilidade torna-se apenas um benefício, dentre outros importantes a serem obtidos com o investimento, como sua distribuição na sociedade e os impactos sociais e ambientais gerados.

Segundo Ortolano (1997), apesar de existirem centenas de métodos para a avaliação de alternativas, não há uma concordância entre os especialistas sobre quais seriam os mais adequados para cada caso. Estes métodos variam bastante, desde aqueles em que a comparação é feita a partir de apenas um critério, até os mais robustos, em que os diversos critérios a serem avaliados não podem ser mensurados na mesma unidade, exigindo análises mais complexas. Este é o caso das análises multicritério, em que os aspectos relevantes na

comparação das alternativas são avaliados em unidades não monetárias, sendo na maioria das vezes incomensuráveis e dependendo de avaliações subjetivas.

### **5.3.2- Análise de critério único**

A estrutura desse tipo de análise é definida por Harada e Cordeiro Netto (1999), baseando-se no princípio da agregação dos diferentes efeitos analisados e a consideração dos ganhos em um único critério. Isto significa a busca do maior valor ou do valor mais próximo a um máximo desejado para uma função  $z(x)$ . Essa função é o principal parâmetro utilizado para a avaliação de alternativas de projeto.

Segundo esse modelo,  $z(x) > z(y)$  significa que a alternativa  $x$  é preferível à  $y$ . Ele leva em conta ainda, o princípio da transitividade, o que significa dizer que, se  $z(x) > z(y)$  e  $z(y) > z(w)$ , então,  $z(x) > z(w)$ . A igualdade ou a inexistência de preferência entre alternativas só é admitida, quando tiver valores iguais para suas avaliações, ou seja, se  $z(x) = z(y)$ .

Os principais tipos de avaliação de alternativas, a partir da análise de um critério único, são definidos a seguir (adaptado de Harada e Cordeiro Netto, 1999 e Ortolano, 1997).

#### 5.3.2.1- Análise custo-efetividade

Neste tipo de análise, são avaliados os custos para a realização das alternativas que atingirem os objetivos definidos para o empreendimento. Seleccionadas as alternativas que atenderem a estes objetivos, a melhor opção é a que puder ser realizada com o menor custo. Isso significa obter o menor valor no único critério avaliado, nesse caso, o critério financeiro.

A principal vantagem desse tipo de análise é a simplicidade de sua estrutura, devido ao fato de não serem necessários muitos cálculos ou comparações. No entanto, como principal desvantagem, tem-se o fato de não serem considerados outros critérios como os ambientais e sociais. Além disso, nem todos os custos diretos e indiretos são considerados no cálculo, perdendo-se abrangência na análise.

#### 5.3.2.2- Análise custo-benefício

O objetivo principal desse tipo de avaliação é a comparação de vantagens e desvantagens no aspecto econômico, entre as diversas alternativas possíveis, de forma a obter subsídio para a escolha da que apresente melhor relação entre custos e benefícios gerados.

Para possibilitar esta comparação, os efeitos a serem causados pelas diversas alternativas de projeto são calculados financeiramente, transformando todos os custos e benefícios em moeda. Os benefícios são calculados a partir das receitas ou economias advindas da implementação do empreendimento, podendo ser considerados, inclusive, benefícios ambientais e sociais, do ponto de vista da coletividade. Para o cálculo dos custos, são incluídos todos os gastos diretos e indiretos referentes ao investimento e manutenção da obra.

A avaliação desses benefícios e custos é feita a partir de preços de mercado ou pesquisas que possam ajudar a mensurar a disposição dos consumidores a pagar por determinado produto. No entanto, há circunstâncias em que o cálculo por meio de preços de mercado não reflete a real avaliação dos efeitos da obra. Nestes casos, os economistas sugerem que sejam utilizados os chamados “preços sombra”. Segundo Mishan (1975), “preço sombra” é aquele que um economista atribui a um produto com o argumento de que é mais apropriado que o preço real, no intuito do cálculo econômico em questão. O economista então “corrige” um preço existente ou atribui valor a perdas ou ganhos não calculados.

Depois de calculados os valores referentes aos custos e benefícios, as alternativas de projeto podem então ser comparadas, a partir de alguma relação entre custos e benefícios, podendo ser citadas, como exemplo:

- A diferença entre o valor dos benefícios e o dos custos. Neste caso, a melhor alternativa é a que obtiver o maior valor para esta diferença;
- A razão entre benefícios e custos. Quanto maior o valor encontrado para esta razão, melhor pode ser considerada a alternativa.

A principal vantagem desse tipo de análise é a mais fácil compreensão dos resultados por todos os participantes do processo, uma vez que todos os benefícios e custos referentes a todas as alternativas de projeto estarão expressos monetariamente.

Como desvantagem, pode ser citada a necessidade de um grande número de informações e a tendência de serem negligenciadas conseqüências cujos efeitos não podem ser quantificados.

#### 5.3.2.3- Análise risco-benefício

Para os dois outros tipos de análises descritos nos itens anteriores, os efeitos causados pelas diversas alternativas de projeto eram tidos como certos, ou seja, ocorreriam como previsto.

No entanto, sabe-se que quaisquer previsões, principalmente no que tange a impactos ambientais ou ao ciclo hidrológico, são acompanhadas por um determinado risco.

Este tipo de análise tem o princípio de considerar riscos aceitáveis, além de medidas necessárias para a remediação de suas conseqüências, comparando-as aos benefícios propostos por cada alternativa de projeto.

A principal vantagem deste tipo de análise é o fato de prever e aceitar o risco existente na implementação de qualquer alternativa de projeto. Como desvantagem, observa-se que a estimativa dos riscos é difícil de ser mensurada, o que torna a análise bastante subjetiva.

### **5.3.3- Análises multicritério**

As avaliações de alternativas de projeto não devem ser forçosamente efetuadas a partir do atendimento a apenas um critério. Em alguns casos, é importante que sejam considerados ao mesmo tempo aspectos econômicos, sociais, ambientais, políticos bem como quaisquer outros que se mostrarem relevantes à comparação de um determinado conjunto de alternativas. Intervêm também, freqüentemente, múltiplos decisores, às vezes com conflitos de interesses e diferentes pontos de vista. Para a realização de uma análise global, são necessários métodos baseados na otimização do resultado de um grupo de funções.

Nesse tipo de análise, segundo Braga Junior e Gobetti (1997), é verificada uma nova nuance para o conceito de otimização, uma vez que não existe apenas um único ótimo em um problema com o atendimento a múltiplos critérios. Há sempre um conjunto ótimo de soluções, atendendo de formas diferentes aos critérios envolvidos na análise. Este conjunto é denominado de conjunto Pareto ótimo, no qual, só é possível a melhora em relação a um critério, com a piora em relação a outro. Apresenta-se, nesse momento, o conceito de “dominância”. As soluções dominantes são aquelas pertencentes ao conjunto Pareto ótimo, em que não se pode melhorar a avaliação para a maioria dos critérios, sem que pelo menos um seja piorado. Para o caso das soluções dominadas há ainda soluções em que a avaliação de todos os critérios pode ser melhorada.

Segundo Harada e Cordeiro Netto (1999), a grande vantagem desses métodos, denominados “multicritério”, é poder quantificar e avaliar diversos critérios que não o seriam nas análises de critério único. Com isso, podem ser mais bem percebidas e comparadas as particularidades de cada alternativa de projeto proposta.

No entanto, há a desvantagem de necessitar de um grande número de informações para a avaliação de cada alternativa. Além disso, os decisores e a escolha dos critérios a serem avaliados têm bastante relevância no processo, tornando a análise às vezes muito subjetiva.

Devido ao grande número de métodos de análise multicritério e de suas variadas características, é difícil haver um consenso no meio científico em relação a uma forma de classificação desses métodos.

Harada e Cordeiro Netto (1999) seguem a classificação proposta por Vincke (1989) e adotada pelo SMG – *Service de Mathématiques de La Gestion* (Paris, França) – tida como uma das mais simples e com maior aceitação. Nesta classificação, os métodos existentes são divididos em três grandes famílias: métodos baseados na teoria de utilidade-multiatributo; métodos seletivos e métodos interativos.

Outra forma de classificação com grande difusão no meio científico é a de Cohon e Marks (1975) *apud* Gobetti (1993), tendo caracterização semelhante à anterior sendo, entretanto, mais detalhada em sua nomenclatura: técnicas que geram um conjunto de soluções não-dominadas; técnicas que utilizam uma articulação antecipada de preferências e técnicas que observam uma articulação progressiva de preferências. Nos itens seguintes, esses grupos de métodos ou famílias são definidos.

#### 5.3.3.1- Métodos baseados na teoria de utilidade-multiatributo

Segundo Harada (1999), a principal característica dessa família, de utilização difundida na América do Norte, é a agregação de diferentes atributos dentro de uma única função. Com isso, o objetivo principal da análise das alternativas torna-se a otimização dessa função.

A síntese dos diversos atributos, agregando-os em um único valor, formará esta função. Para os múltiplos objetivos devem ser determinadas as funções de utilidade de cada atributo, combinadas à finalidade de formar uma única função utilidade-multiatributo.

Os principais métodos desta família são:

- Método dos Pesos;
- Método das Restrições;
- Método AHP (*Analytical Hierarchy Process*);
- Método Multiobjetivo linear.

Outro método também bastante utilizado, a Programação de Compromisso (Compromise Programming), é classificado por Harada (1999) nesse grupo. Apesar de possuir pontos em comum com métodos de outros grupos, sua principal característica é a de buscar a otimização da função “distância da solução ideal”, o que faz com que possa ser classificado dentro das características dessa família. O método TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) foi proposto como uma evolução da Programação de Compromisso, de forma a considerar a distância de cada alternativa à solução ideal e à inversa, denominada de *anti-ideal* e, com isso, pode ser também classificado nesse mesmo grupo.

#### 5.3.3.2- Métodos seletivos

Esta família, de maior utilização na Europa, tem como principal característica o estabelecimento de comparações entre alternativas, duas a duas, com a construção de uma relação que acompanhará as preferências dos decisores. Essa relação é denominada de relação de seleção.

A partir dessa relação entre cada duas alternativas, é possível verificar se há argumentos para decidir se uma é melhor que a outra. Nesse momento são incorporados os conceitos de indiferença e incomparabilidade de ações, referindo à preferência entre elas. Isso faz com que, em alguns casos, não seja possível realizar a ordenação completa de preferência das alternativas.

Os principais métodos dessa família são os métodos da família ELECTRE (*ELimination Et Choix Traduisant REalité*) e PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*).

#### 5.3.3.3- Métodos interativos

Esses métodos, também denominados de articulação progressiva de preferências, partem do princípio segundo o qual o sistema de preferências é discutido ao longo de todo processo decisório. Ao contrário das outras famílias, o decisor não tem estabelecido a priori o seu sistema de preferências. Ao longo do processo decisório, à medida que o problema é mais bem entendido, são obtidas novas informações incorporadas à análise.

Os principais métodos com essas características são: o método do valor substituto de troca e o método dos passos.



Nos últimos anos, os métodos de análise multicritério têm sido aplicados com sucesso para a solução de problemas em diversas áreas do conhecimento.

Diakoulaki e Karangelis (2006) aplicaram o método PROMETHEE para a escolha de cenários de expansão do sistema elétrico da Grécia, avaliando quatro alternativas desenvolvidas por agências governamentais e comparando os resultados com aqueles obtidos pela análise custo benefício. Os resultados dos dois métodos foram semelhantes, apesar dos autores terem comentado sobre as incertezas devidas a valores de difícil mensuração econômica.

O estudo de Strager e Rosemberger (2006) apresentou a aplicação do método AHP para a escolha de áreas rurais a serem utilizadas para agricultura, manutenção de florestas, preservação da qualidade dos cursos de água e conservação de propriedades históricas no Estado da Virgínia, nos Estados Unidos. Seu estudo objetivou comparar os resultados obtidos com os pesos atribuídos por participantes locais do processo decisório e especialistas externos à área de estudo. Os resultados obtidos não apresentaram diferenças importantes, principalmente em função da ausência de medidas espaciais para critérios especificamente relevantes para a área.

Merad *et al.* (2004) aplicaram o método Electre TRI para o enquadramento de cerca de 320 áreas de risco de colapso e subsidência em classes predefinidas, na Lorraine, na França, após o descomissionamento das minas de ferro da região. Segundo os autores, o método Electre TRI foi de grande valia, apresentando resultados relevantes, uma vez que o enquadramento realizado pôde ser aplicado para apoiar a definição daquelas áreas com necessidade de ação prioritária de proteção.

Aron del e Girardin (2000) aplicaram o método Electre TRI com três famílias de critérios (influência no nitrogênio, uso de pesticidas e gerenciamento do uso da água) para o enquadramento de espécies vegetais em quatro classes de impactos na qualidade das águas. Os resultados obtidos foram considerados relevantes pelos pesquisadores, uma vez que eram adequados para apresentação pelos representantes de Agências de Águas para os fazendeiros, com vistas à determinação de espécies vegetais mais adequadas para plantio em determinadas áreas.

Zeng *et al.* (2006) aplicaram uma combinação dos métodos AHP e GRA (*Grey Relational Analysis*) para a comparação de quatro alternativas de estações de tratamento de efluentes em função de critérios de desempenho técnico, financeiro e administrativo na China. Os

resultados obtidos foram considerados eficientes, em função de terem indicado a alternativa de arranjo ótimo e que levaria ao máximo benefício para o tratamento de efluentes previsto.

Outro método bastante aplicado é o Electre III, podendo ser citados os trabalhos de Roy *et al.* (1992) para a seleção de alternativas de abastecimento de água na Polônia, Siskos e Hubert (1983) para a seleção de estratégia de desenvolvimento energético na França, Simos (1990) para a avaliação de impactos sobre o meio ambiente na Suíça e Roy e Bouyssou (1983) para a seleção de alternativas para a implantação de centrais nucleares nos Estados Unidos.

Montanari (2004) aplicou o método TOPSIS para a ordenação de 15 centrais termoelétricas na Itália, segundo seis critérios ambientais relacionados ao consumo e custo de combustíveis e às emissões de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> e particulados com dimensões inferiores a 10 micra. Sua metodologia se mostrou eficiente para ordenar as centrais termoelétricas em função dos seis critérios e avaliar a sua qualidade ambiental, baseando-se em um indicador agregado para verificação da poluição causada por cada uma delas.

Na área de gestão de recursos hídricos, o método TOPSIS foi aplicado por Srdjevic *et al.* (2004) para a ordenação de cenários com alternativas de gerenciamento do uso da água em reservatórios na bacia hidrográfica do rio Paraguaçu, na Bahia. A metodologia foi considerada eficiente e robusta pelos autores, em função da possibilidade de ordenação final dos cenários com o apoio do método multicritério aplicado.

Especificamente na área de drenagem urbana, a pesquisa bibliográfica realizada identificou os seguintes trabalhos realizados com análises multicritério:

- Azzout (1996) aplicou o Electre III para apoio à escolha de técnicas alternativas de drenagem urbana. Os resultados apresentados foram aplicados a um estudo de caso na França, levando a resultados satisfatórios com a eliminação das técnicas inviáveis de aplicação e a escolha daquelas de possível utilização naquela área de projeto;
- Castro (2002) utilizou os métodos Programação de Compromisso e Electre III para a avaliação de alternativas de projeto utilizando sistemas clássicos ou compensatórios de drenagem urbana. Em seu trabalho foi proposta uma metodologia de avaliação de alternativas de projeto para drenagem urbana, com base em indicadores ambientais, hidráulicos, sanitários, sociais e de qualidade das águas. A metodologia foi aplicada com sucesso em três estudos de caso, para a comparação e escolha de alternativas de projeto prevendo técnicas clássicas e compensatórias de drenagem urbana;

- Moura (2004) agregou os indicadores propostos por Castro (2002) a um indicador financeiro e aplicou o TOPSIS para a análise de alternativas de projeto. Em seu estudo a metodologia foi aplicada com sucesso nos mesmos estudos de caso de Castro (2002), obtendo resultados relevantes para uma avaliação mais global e escolha de alternativas de projeto;
- Moura *et al.* (2005) compararam a metodologia de Moura (2004) à análise por meio do Electre III, baseando-se em um estudo de caso. A comparação mostrou resultados equivalentes entre as duas metodologias que apresentaram, ainda, reduzida sensibilidade e grande robustez. Os resultados foram relevantes para mostrar a consistência da metodologia de Moura (2004), que pode ser aplicada de forma segura para uma pré-seleção de um reduzido número de alternativas de projeto para serem comparadas de forma mais detalhada posteriormente;
- Martin *et al.* (2006) compararam o desempenho de técnicas compensatórias de drenagem urbana na França visando a sua ordenação por meio do Electre III. Os resultados obtidos destacaram os motivos principais que levam à grande utilização das técnicas compensatórias. O principal deles trata da melhor prevenção contra cheias, função de seus aspectos técnicos e hidráulicos. Outro resultado obtido foi a ordenação das técnicas compensatórias em função das diferentes estratégias de implantação adotadas pelos tomadores de decisão envolvidos.

#### **5.4- Escolha dos métodos a serem aplicados**

A avaliação das alternativas de projeto deve ser realizada por meio de um dos tipos de metodologias apresentados no item anterior. A metodologia proposta no presente estudo deverá relacionar indicadores referentes às possíveis alterações proporcionadas pelo desenvolvimento urbano na qualidade, quantidade e regime existente nos corpos de água. Esses indicadores concernem aspectos e critérios diferentes, que podem ser divergentes, sem serem economicamente quantificáveis.

Nesse sentido, a metodologia a ser aplicada deve ser capaz de agregar os valores dos indicadores em alguma função que permita apoiar a tomada de decisão. Com esse interesse, propõe-se a aplicação de metodologia de análise multicritério, que tem a característica principal de poder agregar indicadores diversos e com interesses divergentes, além de pesos variáveis em função da importância verificada de cada aspecto na análise global.

Segundo Roy (1985), as seguintes problemáticas podem ser abordadas pelos diferentes métodos de Decisão Multicritério Discreta (DMD):

- Problemas tipo  $\alpha$  ( $p\alpha$ ): selecionar a “melhor” alternativa ou as melhores alternativas;
- Problema tipo  $\beta$  ( $p\beta$ ): aceitar alternativas que parecem “boas” e descartar as que parecem “ruins”, ou seja, realizar uma classificação de alternativas;
- Problema tipo  $\gamma$  ( $p\gamma$ ): gerar uma ordenação de alternativas;
- Problema tipo  $\delta$  ( $p\delta$ ): realizar uma descrição de alternativas.

As problemáticas apresentadas não são independentes entre si, uma vez que pode ser lógico pensar que a ordenação de alternativas  $p\gamma$  pode servir de base para resolver problemas de seleção da melhor alternativa  $p\alpha$ .

No presente trabalho, a aplicação do método multicritério objetiva “escolher” um projeto considerando-o aceitável ou não, em função do atendimento a valores limites considerados para os indicadores. Nesse sentido, dentre as problemáticas possíveis de serem solucionadas com os métodos de DMD, pode ser enquadrada como  $\beta$ .

Muitos são os métodos de análise multicritério e a escolha do melhor deles para a resolução de um determinado problema pode ser complicada. Segundo Generino e Cordeiro Netto (1999), a utilização de um deles irá depender do problema a ser analisado, da familiaridade do analista com determinado método e da existência dos recursos necessários à sua aplicação.

A escolha dos métodos a serem utilizados para a presente análise foi determinada em função dos seguintes fatores: necessidade de solução de problemática tipo  $\beta$ ; interesse que fossem de duas famílias diferentes de forma a poder ter seus resultados comparados; experiência existente entre os principais trabalhos desenvolvidos na área; viabilidade da obtenção de meios para a sua aplicação.

Dentre as três famílias de métodos multicritério apresentadas anteriormente, os métodos interativos não são adequados ao presente estudo uma vez que demandam que as preferências entre os indicadores sejam discutidas ao longo do tempo. No presente processo, conforme será discutido posteriormente, a análise de importância dos aspectos avaliados foi realizada antes da aplicação do método multicritério e, portanto, os pesos dos indicadores não deverão sofrer alterações ao longo do processo decisório. Além disso, na consulta bibliográfica realizada não foram verificados estudos realizados na área de drenagem urbana com métodos dessa família.

Por fim, por necessitar da discussão contínua de preferências ao longo do tempo, esses métodos demandam mais tempo em sua aplicação, o que inviabilizaria a sua aplicação cotidiana pelos técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos. Sendo assim, a escolha recaiu pela aplicação de métodos das outras duas famílias.

No caso dos métodos seletivos, foi escolhido um dos métodos Electre, o TRI, que é aquele que tem a função principal de realizar a triagem de alternativas de projeto determinando aquelas que atendem a requisitos apresentados pelo analista. Essa característica faz com que ele possa resolver problemas segundo a problemática  $\beta$ . Além disso, a aplicação desse método é viável em função da possibilidade de seu cálculo por meio de planilhas eletrônicas.

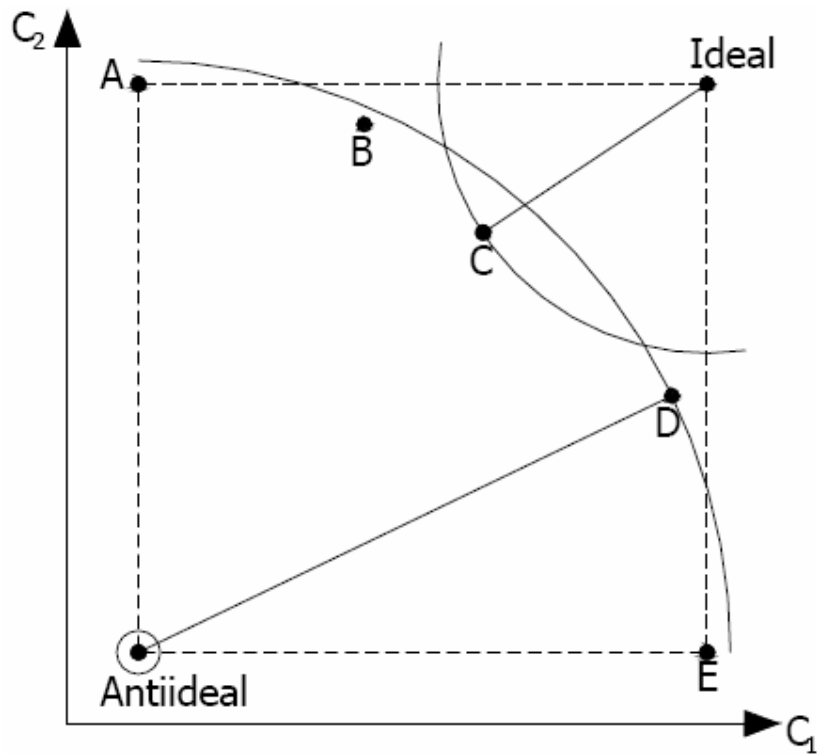
Quanto aos métodos da outra família, foi escolhido o TOPSIS. Apesar desse método ter sido formulado para ordenação de alternativas de projeto, pode ser adaptado para aplicação no enquadramento de um projeto em classes, por meio da inserção de alternativas fictícias com valores representando os limites inferiores e superiores para cada indicador em cada classe. Além disso, esse método pode ser considerado mais avançado que o Programação de Compromisso e tem sido aplicado com sucesso em processos relacionados a drenagem urbana. Assim como o Electre TRI, o TOPSIS pode ter sua formulação de cálculo aplicada em planilhas eletrônicas.

#### **5.4.1- TOPSIS**

O Método TOPSIS foi proposto por Hwang e Yoon (1981) *apud* Pomerol e Barba-Romero (1993), como uma evolução da Programação de Compromisso, de forma a identificar as soluções não-dominadas por meio da consideração da distância de cada alternativa à solução ideal e à inversa, denominada de *anti-ideal*. O Programação de Compromisso considerava em sua análise apenas a distância à solução ideal.

A Figura 5.1, de Pomerol e Barba-Romero (1993), mostra que o cálculo realizado apenas por meio da distância à solução ideal ou *anti-ideal* pode levar a resultados diferentes. Nessa Figura, estão representadas cinco alternativas A, B, C, D e E de uma escolha com dois critérios. Os pontos referentes à situação ideal e à *anti-ideal* também estão representados na Figura.

Considerando pesos iguais para os dois critérios, caso fosse utilizada a distância euclidiana  $d_2$ , a alternativa C seria considerada a mais próxima da ideal, enquanto a alternativa D seria a mais distante da anti-ideal.



**Figura 5.1** – Distância das alternativas à solução ideal e anti-ideal. Pomerol e Barba-Romero (1993)

Sendo assim, a evolução em relação à Programação de Compromisso está em resolver o dilema entre escolher a distância de cada alternativa à solução ideal ou à *anti-ideal*. Para cada alternativa  $a_j = (a_{j1}, a_{j2}, a_{j3}, \dots, a_{jn})$  são calculadas a distância  $d_p^M(a_j)$  e a  $d_p^m(a_j)$ , sendo consideradas, respectivamente, as distâncias à solução ideal e à solução *anti-ideal*, segundo as seguintes expressões:

$$d_p^M(a_j) = [\sum_i w_i^p | a_i^M - a_{ji} |^p]^{1/p} \quad (5.1)$$

$$d_p^m(a_j) = [\sum_i w_i^p | a_i^m - a_{ji} |^p]^{1/p} \quad (5.2)$$

Em que:

$i$  = critério analisado;

$w_i$  = peso do critério  $i$ ;

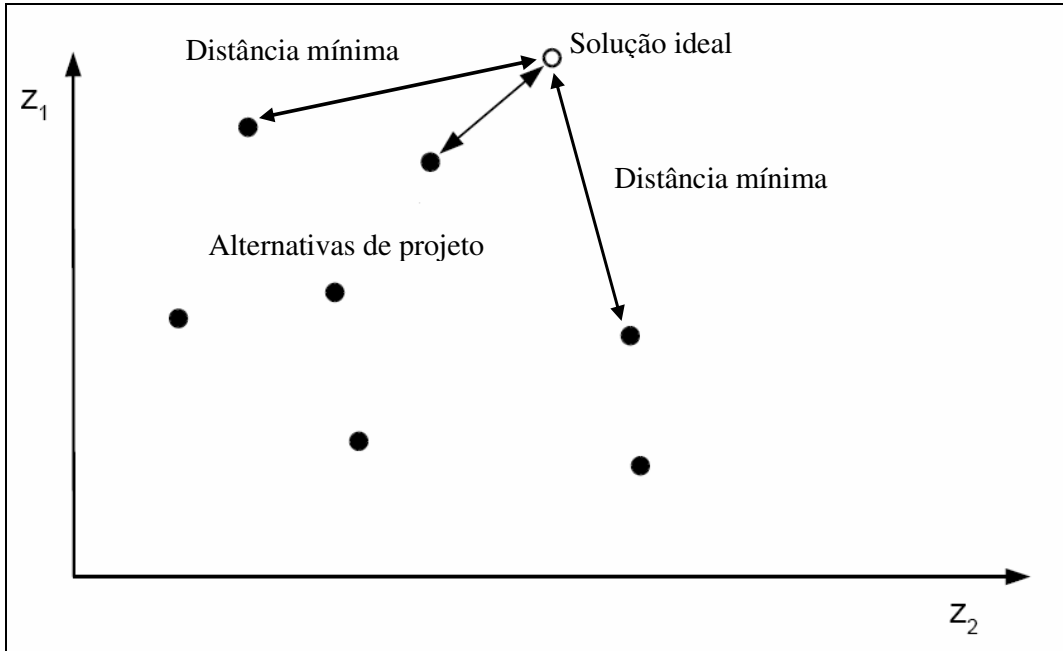
$p$  = valor correspondente ao tipo de distância que se deseja calcular;

$a_i^M$  = valor máximo, dentre as alternativas, para o critério  $i$ ;

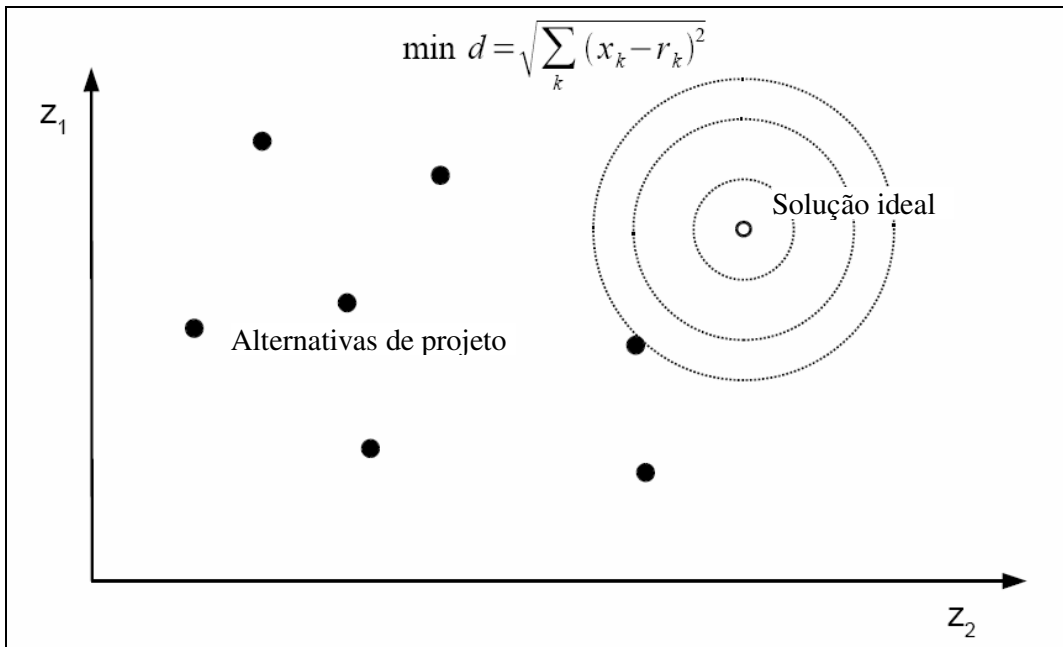
$a_i^m$  = valor mínimo, dentre as alternativas, para o critério  $i$ ;

$a_{ji}$  = valor da alternativa  $j$  para o critério  $i$ .

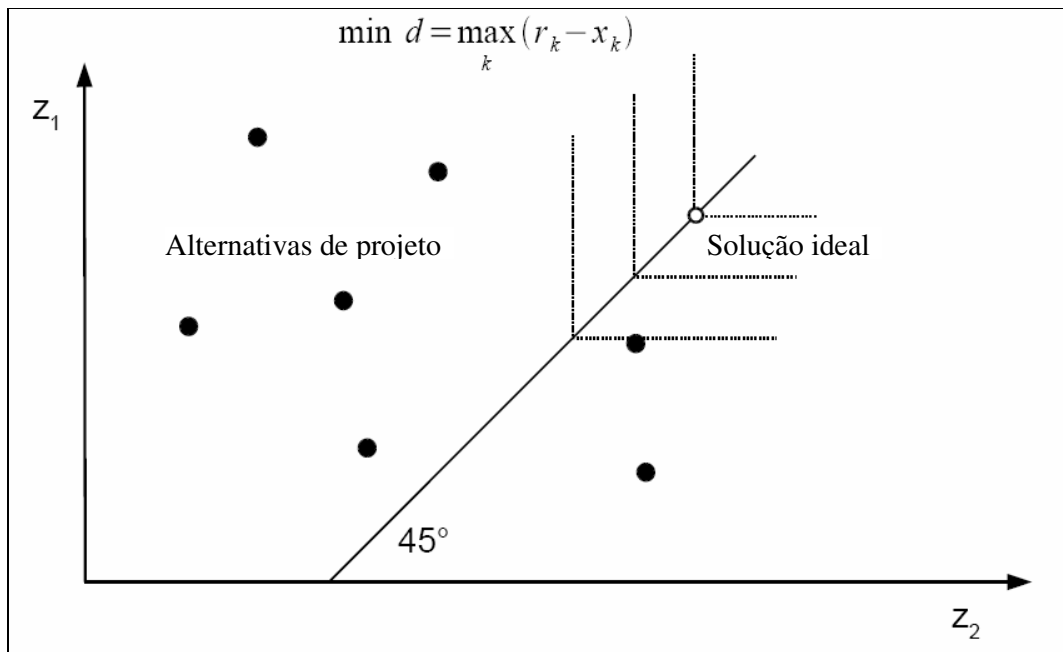
Segundo Melachrinoudis e Xanthopoulos (1998), os valores de  $p$  mais utilizados são 1, 2 e  $\infty$ . Quando  $p=1$ , a distância é do tipo retangular, quando  $p=2$ , a distância é do tipo Euclidiana e quando  $p= \infty$ , a distância é do tipo de Tchebycheff. As figuras 5.2 a 5.4 apresentam, respectivamente, as distâncias retangular, euclideana e de Tchebycheff à solução ideal.



**Figura 5.2** – Distância retangular ( $p = 1$ ) das alternativas de projeto à solução ideal (Vetschera, 2005)



**Figura 5.3** – Distância euclidiana ( $p = 2$ ) das alternativas de projeto à solução ideal (Vetschera, 2005)



**Figura 5.4** – Distância de Tchebycheff ( $p = \infty$ ) das alternativas de projeto à solução ideal (Vetschera, 2005)

Os valores de  $p$  definidos tratam de dar maior ou menor importância aos desvios de cada alternativa em relação às soluções ideal e *anti-ideal*. Dentre essas distâncias, a mais aplicada é a retangular, pela facilidade de entendimento e aplicação.

A partir do resultado das equações 5.1 e 5.2 é calculada a denominada taxa de *similitude*  $D_p$  ( $a_i$ ).

$$D_p(a_i) = \frac{d^m p(a_j)}{[d^M p(a_j) + d^m p(a_j)]} \quad (5.3)$$

Essa taxa varia do valor zero para a alternativa *anti-ideal* a 1 no caso da solução ideal. Nesse sentido, a ordenação completa das alternativas é feita com base nos valores calculados para a taxa de similitude para cada alternativa.

#### 5.4.2- Electre TRI

O método Electre TRI foi desenvolvido por Yu (1992b) e tem como característica principal a solução de problemática do tipo  $\beta$ , por meio da comparação de cada alternativa de projeto em análise com padrões de referência estáveis e com a utilização de pseudo-critérios. O seu modelo e formulação de cálculo podem ser encontrados em Gomes *et al.* (2004), Mousseau *et al.* (1999) e Yu (1992a e 1992b) e são apresentados a seguir para aplicação na metodologia proposta para a presente pesquisa.



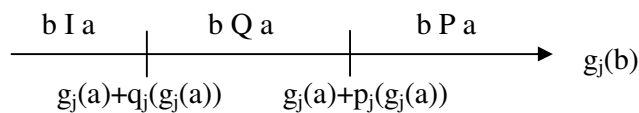
Segundo Roy (1978), o princípio dos métodos que utilizam pseudo-critérios é baseado na comparação de cada duas ações a partir de uma relação denominada de sobre classificação. Afirmar que a ação  $\underline{a}$  sobre-classifica a ação  $\underline{b}$  ( $\underline{a} > \underline{b}$ ), por exemplo, significa afirmar que  $\underline{a}$  é pelo menos tão boa quanto  $\underline{b}$ . Estas duas ações podem ser indiferentes ou uma poderá ser preferida em relação à outra em relação a algum critério.

Conforme Maystre *et al.* (1994), o pseudo-critério permite a percepção de uma nuance entre a indiferença e a preferência estrita, com a introdução do conceito de preferência fraca. Esse critério é caracterizado pela introdução de dois limiares. O limiar de indiferença  $q$  e o limiar de preferência  $p$ . Esses limiares podem ser constantes ou dependentes da ação considerada e são definidos por uma ação do tipo:

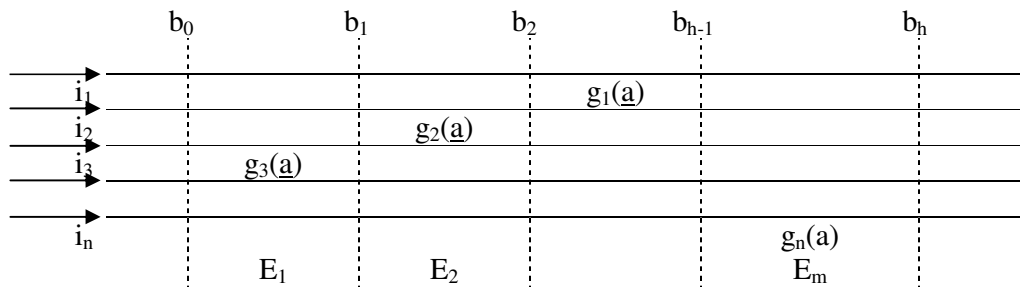
$$p_j(g_i(\underline{a})) = \alpha + \beta \cdot g_i(\underline{a}) \quad (5.4)$$

Em que  $g_i(\underline{a})$  é a avaliação da ação  $\underline{a}$  segundo o critério  $i$ . O limiar  $q$  representa um valor julgado como insignificante para diferenciar duas ações em relação ao critério  $j$ . Quanto ao limiar  $p_j$ , tem a função de transmitir a margem máxima de incerteza de cálculo, sobre a qual pode se dizer com certeza que um resultado é melhor que outro. Um critério verdadeiro é um pseudo-critério em que os limiares  $p_j$  e  $q_j$  são nulos.

As relações de indiferença, preferência fraca e preferência estrita são simbolizadas respectivamente pelas letras I, Q e P. Nesse sentido, para indicadores de avaliação crescente, o pseudo-critério pode ser entendido da seguinte forma gráfica:



Em uma análise multicritério com  $\underline{n}$  indicadores, são definidas as  $\underline{m}$  categorias por meio do estabelecimento de limites mínimos e máximos para cada indicador em cada uma delas. Conforme Gomes *et al.* (2004), considerando-se os indicadores  $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$ , o analista define as categorias  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_m$ , por meio dos limites mínimos e máximos de referência  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_h$  para os indicadores em cada uma delas. A Figura 5.5 mostra a classificação da alternativa  $\underline{a}$  para cada um dos indicadores  $i$ . Na Figura,  $g_i(\underline{a})$  representa o valor do indicador  $i$  para a alternativa  $\underline{a}$ .



**Figura 5.5** – Classificação da alternativa de referência a para cada um dos indicadores  $i$  e categorias  $E$  (adaptada de Gomes *et al.* 2004)

Para a metodologia proposta no presente trabalho, deve ser estabelecida apenas uma categoria por meio de uma alternativa fictícia  $\underline{b}$  a ser comparada com o projeto  $\underline{a}$  em análise pelo órgão gestor de recursos hídricos. O resultado da análise realizada será dado pela sobre-classificação ou não do projeto em análise em relação à alternativa fictícia.

O Electre TRI constrói uma relação  $S$  que valida ou invalida a afirmativa  $\underline{a} > \underline{b}$  (e  $\underline{b} > \underline{a}$ ). A validação dessa afirmativa que  $\underline{a} > \underline{b}$  ocorre com a verificação das seguintes condições:

- Concordância: a maioria dos critérios está a favor da afirmativa;
- Não discordância: da minoria dos critérios que está contra a afirmativa, nenhum se opõe de forma “muito forte”.

Para a verificação das condições acima, devem ser realizados os cálculos apresentados a seguir. Inicialmente deve ser calculado o índice de concordância por critério  $c_i(\underline{a}, \underline{b})$  da seguinte forma:

- Se  $g_i(\underline{a}) \leq g_i(\underline{b}) - p_i$ , então  $c_i(\underline{a}, \underline{b}) = 0$ ;
- Se  $g_i(\underline{a}) > g_i(\underline{b}) - q_i$ , então  $c_i(\underline{a}, \underline{b}) = 1$ ;
- Se  $g_i(\underline{b}) - p_i < g_i(\underline{a}) \leq g_i(\underline{b}) - q_i$  então  $0 < c_i(\underline{a}, \underline{b}) < 1$ . Nesse caso, o  $c_i(\underline{a}, \underline{b})$  é obtido por meio de interpolação linear, com a aplicação da fórmula:

$$c_i(\underline{a}, \underline{b}) = \frac{p_i - [g_i(\underline{b}) - g_i(\underline{a})]}{p_i - q_i} \quad (5.5)$$

Em que:

$c_i(\underline{a}, \underline{b})$  = índice de concordância no critério  $i$  da proposição “ $\underline{a}$  é tão boa quanto  $\underline{b}$ ”;

$p_i$  = limiar de preferência definido para o critério  $i$ ;

$q_i$  = limiar de indiferença definido para o critério  $i$ ;

$g_i(\underline{a})$  = função de avaliação do critério  $i$  para a alternativa em análise  $\underline{a}$ .

$g_i(\underline{b})$  = função de avaliação do critério  $i$  para a alternativa fictícia  $\underline{b}$ .

O mesmo procedimento deve ser adotado para o cálculo do índice de concordância  $c_i(\underline{b}, \underline{a})$ . Vale ressaltar nesse caso que, não necessariamente, a soma dos dois índices será igual a 1. Com base nos valores dos índices de concordância para cada um dos critérios, devem ser calculados os índices de concordância globais  $C(\underline{a}, \underline{b})$  e  $C(\underline{b}, \underline{a})$ , por meio da seguinte expressão:

$$C(\underline{a}, \underline{b}) = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot c_i(\underline{a}, \underline{b})}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5.6)$$

Em que:

$C(\underline{a}, \underline{b})$  = índice de concordância global da proposição “ $\underline{a}$  é tão boa quanto  $\underline{b}$ ”;

$w_i$  = peso do critério  $i$  na análise global.

Posteriormente, devem ser calculados os índices de discordância para cada critério  $d_i(\underline{a}, \underline{b})$ , da seguinte forma:

- Se  $g_i(\underline{a}) > g_i(\underline{b}) - p_i$ , então  $d_i(\underline{a}, \underline{b}) = 0$ ;
- Se  $g_i(\underline{a}) \leq g_i(\underline{b}) - v_i$ , então  $d_i(\underline{a}, \underline{b}) = 1$ ;
- Se  $g_i(\underline{b}) - v_i < g_i(\underline{a}) \leq g_i(\underline{b}) - p_i$  então  $0 < d_i(\underline{a}, \underline{b}) < 1$ . Nesse caso, o  $d_i(\underline{a}, \underline{b})$  é obtido

por meio de interpolação linear, com a aplicação da fórmula:

$$d_i(\underline{a}, \underline{b}) = \frac{[g_i(\underline{b}) - g_i(\underline{a})] - p_i}{v_i - p_i} \quad (5.7)$$

Em que:

$d_i(\underline{a}, \underline{b})$  = índice de discordância no critério  $i$  da proposição “ $\underline{a}$  é tão boa quanto  $\underline{b}$ ”;

$v_i$  = limiar de veto definido para o indicador  $i$ .

A próxima etapa da análise é por meio do cálculo do Índice de Credibilidade  $\sigma(\underline{a}, \underline{b})$ , que constitui o procedimento de agregação multicritério e expressa o nível em que a alternativa  $\underline{a}$  sobre-classifica a alternativa  $\underline{b}$  em função dos índices de concordância global e dos índices de discordância por critério. O cálculo do Índice de Credibilidade  $\sigma(\underline{a}, \underline{b})$  é baseado nos seguintes princípios:

- 1) Se nenhum critério for discordante quanto à afirmativa que “ $\underline{a}$  é tão boa quanto  $\underline{b}$ ”, tem-se que:  $\sigma(\underline{a}, \underline{b}) = C(\underline{a}, \underline{b})$ ;

2) Se algum critério discordante vetar a afirmativa que “a é tão boa quanto b”, ou seja, se um critério tiver índice de discordância  $d_i(\underline{a}, \underline{b}) = 1$ , o índice de credibilidade torna-se nulo:  $\sigma(\underline{a}, \underline{b}) = 0$ . Nessa situação, a afirmativa que “a é tão boa quanto b” é definida como impossível.

3) Se algum critério for discordante de forma que  $C(\underline{a}, \underline{b}) < d_i(\underline{a}, \underline{b}) < 1$ , o índice de credibilidade  $\sigma(\underline{a}, \underline{b})$  assume valor inferior ao índice de concordância global  $C(\underline{a}, \underline{b})$ , devido ao efeito de oposição desse critério. Nesse caso, o índice de credibilidade corresponde ao índice de concordância enfraquecido pelos eventuais efeitos de veto e seu cálculo pode ser realizado da seguinte forma:

$$\sigma(\underline{a}, \underline{b}) = C(\underline{a}, \underline{b}) \cdot \prod_{j \in F} \frac{1 - d_i(\underline{a}, \underline{b})}{1 - C(\underline{a}, \underline{b})} \quad (5.8)$$

Em que:

$F = \{j \in F / d_i(\underline{a}, \underline{b}) > C(\underline{a}, \underline{b})\}$ , ou seja, F é o conjunto dos critérios para os quais o índice de discordância individual  $d_i(\underline{a}, \underline{b})$  é superior ao índice de concordância global  $C(\underline{a}, \underline{b})$ .

O mesmo procedimento deve ser aplicado para o cálculo dos índices de discordância  $d_i(\underline{b}, \underline{a})$  e de credibilidade  $\sigma(\underline{b}, \underline{a})$ .

A etapa a seguir trata da definição da avaliação da alternativa em análise a em relação à fictícia b. Esse procedimento é realizado em função do valor definido para o nível de corte ( $\lambda$ ) que é verificado como o menor valor do índice de credibilidade  $\sigma(\underline{a}, \underline{b})$  compatível com a afirmativa que a sobre-classifica b. O nível de corte deve ser estabelecido dentro do intervalo de 0,50 a 1,00, sendo indicada em Mousseau *et al.* (1999) a adoção de valor inicial correspondente a 0,75. A atribuição de valores mais elevados para o nível de corte demonstra um maior interesse pela minimização de incertezas na decisão acerca da avaliação da alternativa a em relação à b.

O resultado final da análise pode determinar quatro resultados possíveis para a avaliação da alternativa a em função dos valores calculados para os índices de credibilidade  $\sigma(\underline{a}, \underline{b})$  e  $\sigma(\underline{b}, \underline{a})$  e do valor atribuído para o nível de corte ( $\lambda$ ): a > b (a sobre-classifica ou é preferível a b); a R b (a é incomparável a b); a I b (a é indiferente a b); b > a (b sobre-classifica ou é preferível a a). Esses resultados são obtidos da seguinte forma:

- Se  $\sigma(\underline{a}, \underline{b}) \geq \lambda$  e  $\sigma(\underline{b}, \underline{a}) < \lambda \Rightarrow \underline{a} > \underline{b}$ ;

- Se  $\sigma(\underline{a}, \underline{b}) \geq \lambda$  e  $\sigma(\underline{b}, \underline{a}) \geq \lambda \Rightarrow \underline{a} I \underline{b}$ ;

- Se  $\sigma(\underline{a}, \underline{b}) < \lambda$  e  $\sigma(\underline{b}, \underline{a}) \geq \lambda \Rightarrow \underline{b} > \underline{a}$ ;

- Se  $\sigma(\underline{a}, \underline{b}) < \lambda$  e  $\sigma(\underline{b}, \underline{a}) < \lambda \Rightarrow \underline{a} R \underline{b}$ .

Caso o projeto em análise possua mais de uma alternativa estudada, cada uma delas deve ser comparada individualmente com a fictícia de forma a poder determinar a sua avaliação.

## **5.5- Conclusões**

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, os empreendimentos de desenvolvimento urbano podem ocasionar alterações nos corpos de água, notadamente no que se refere aos seus aspectos quantitativos, qualitativos e ao seu regime. Essas alterações podem ter níveis diferentes podendo ser aceitáveis ou não no que se refere critérios técnicos.

A verificação das alterações previstas pode ser realizada com base na utilização de indicadores, refletindo cada um dos aspectos relevantes. Os indicadores tratam-se de variáveis que podem refletir características ou o desempenho de determinados empreendimentos de forma a dar suporte a alguma decisão.

Na pesquisa bibliográfica realizada foram verificados indicadores propostos nas áreas de recursos hídricos e hidrologia urbana. Alguns dos estudos encontrados tratam da análise de desempenho de urbanizações, como é o caso de Geerse e Lobbrecht (2002), CSD (1995), Barrera-Roldán e Saldívar-Valdés (2002) e Kolsky e Butler (2002), outros tratam do desempenho de técnicas compensatórias de drenagem, como é o caso de Dechesne *et al.* (2004b) e Martin *et al.* (2006). Os trabalhos de OFWAT e EA (2001) e Matos *et al.* (2003) verificam, por meio de indicadores, os serviços prestados pelas empresas que fazem o esgotamento sanitário e a drenagem pluvial de cidades. Dentre as referências encontradas, apenas os trabalhos de Azzout (1996), Castro (2002), Moura (2004) e Taylor (2005) tratam de indicadores voltados diretamente ao suporte à decisão quanto à viabilidade de implantação de empreendimentos. No entanto, nenhum dos trabalhos consultados considera, de forma direta, as alterações nos corpos de água provocadas pelo desenvolvimento urbano.

Nesse sentido, pode ser verificada a necessidade de proposição de novos indicadores para a avaliação desses aspectos, com vistas à tomada de decisão necessária, quanto à possibilidade de implantação de determinada urbanização.

Para a avaliação do projeto como um todo, há a necessidade de agregação desses indicadores por meio de metodologias que podem levar a critério único ou outras denominadas multicritério. Por se tratar de um trabalho complexo com a agregação de vários indicadores, com interesses às vezes opostos, a avaliação deverá ser realizada por meio da aplicação de dois métodos de análise multicritério, tendo sido escolhidos o Electre TRI e o TOPSIS. Trata-se de dois métodos diferentes, com abordagens distintas do problema e cuja aplicação e resultados poderão ser comparados por meio de análises a serem apresentadas posteriormente.

O próximo capítulo apresenta a proposição de metodologia de análise, constando dos indicadores, dos parâmetros necessários à aplicação dos métodos multicritério, além dos resultados possíveis para suporte à decisão necessária.

## **6- PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA DE ANÁLISE**

### ***6.1- Introdução***

O presente capítulo trata da proposição de metodologia de avaliação dos efeitos dos empreendimentos de desenvolvimento urbano nos corpos de água.

Primeiramente, são apresentados os aspectos técnicos da metodologia, iniciando pelos indicadores propostos para a avaliação dos três critérios referentes às alterações proporcionadas na qualidade, quantidade e regime dos corpos de água. Para cada um desses indicadores são definidos limites denominados índices de veto a serem utilizados como critérios quando da avaliação do desenvolvimento urbano proposto.

Para agregação desses indicadores, são apresentados os parâmetros básicos necessários à aplicação dos métodos TOPSIS e Electre TRI de análise multicritério. Os resultados obtidos da aplicação desses métodos deverão dar suporte à decisão quanto à aceitação ou não do empreendimento.

No que se refere aos aspectos legais, foi apresentada nos capítulos anteriores a necessidade de outorga de direito de uso de recursos hídricos para empreendimentos que levem à alteração de qualidade, quantidade ou regime existente nos corpos de água, podendo a urbanização ser enquadrada entre eles.

Sendo assim, no segundo momento, é vislumbrada a possibilidade de aplicação da metodologia proposta para análise e suporte à decisão dos órgãos gestores de recursos hídricos em processos autorizativos como a outorga. Nesse caso, é proposto um fluxograma formal para aplicação nos procedimentos concernentes aos pedidos de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos.

### ***6.2- Aspectos Técnicos de Análise***

#### ***6.2.1- Introdução***

Neste item são apresentados os indicadores propostos para a avaliação dos efeitos provocados por uma área urbanizada nos corpos de água. Para a proposição dos indicadores foram definidos, no primeiro momento, os principais aspectos referentes aos recursos hídricos e que podem ser afetados pela urbanização de uma área. Conforme discutido nos capítulos anteriores, a urbanização pode modificar a quantidade, qualidade e o regime dos recursos

hídricos em sua área de influência e, sendo assim, foi definido que os indicadores propostos seriam relacionados a cada uma dessas três possíveis alterações.

Com base nessa definição, foi possível estudar os indicadores a serem propostos para cada aspecto acima relacionado. Esse estudo de proposição teve como premissa básica a possibilidade dos indicadores serem calculados matematicamente e que, ao mesmo tempo, refletissem para o analista todos os parâmetros relevantes de comparação para a área urbanizada. Da mesma forma os indicadores deveriam ser suficientemente claros para a compreensão dos participantes de um processo decisório e coerentes para que a análise não avalie em duplicidade determinado aspecto.

Em relação às formas possíveis de determinação, todos os indicadores propostos tiveram obtenção por meio de expressões de cálculo matemático, o que objetivou reduzir o caráter de subjetividade em sua avaliação. As expressões propostas visaram à utilização de parâmetros obtidos por meio de estudos hidráulicos ou hidrológicos em função do projeto de urbanização. Os resultados esperados da aplicação das expressões de cálculo levaram a valores variáveis entre 0 e 1, em que os valores nulos seriam os piores e os unitários seriam os melhores na avaliação.

Para cada indicador, foram propostos, ainda, índices de veto, necessários à aplicação dos métodos multicritério e da metodologia a ser utilizada para a análise global das alternativas de projeto. Os índices de veto têm a função de indicar valores limites para cada indicador que devem ser, individualmente, seguidos pelos projetos em análise. Posteriormente, no item 6.4, sua aplicação será melhor detalhada com a determinação dos resultados possíveis na análise global.

Sendo assim, para cada um dos três aspectos referentes às alterações possíveis nos recursos hídricos na área urbanizada, foram propostos os seguintes indicadores:

#### **Alterações na quantidade das águas**

- Comparação do volume de infiltração de projeto em relação à situação natural ou à situação atual;
- Comparação entre as vazões mínimas escoadas e as demandas para usos consuntivos adicionadas à vazão mínima remanescente;
- Verificação da previsão de reutilização ou recuperação de águas.



## **Alterações no regime existente dos corpos de águas**

- Comparação entre as vazões de pico proporcionadas pela área urbanizada e pela situação natural ou desejável;
- Comparação entre a vazão de pico e a que causaria inundação a jusante;
- Verificação do período de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto.

## **Alterações na qualidade das águas**

- Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário;
- Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de esgotamento sanitário;
- Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de escoamento pluvial;
- Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de escoamento pluvial.

A seguir, são detalhados os indicadores, bem como as expressões de cálculo propostas para a avaliação de cada um deles e os parâmetros necessários a serem obtidos por meio dos estudos de desenvolvimento do projeto de urbanização.

### **6.2.2- Indicadores para a avaliação das alterações na quantidade das águas**

#### 6.2.2.1- Comparação do volume de infiltração de projeto em relação à situação natural ou à situação atual ( $I_{qt1}$ )

O primeiro indicador proposto objetiva comparar os volumes de infiltração anterior e posterior à implantação da alternativa de projeto. Nesse caso, sua análise é iniciada por meio da consideração acerca da área estar em sua situação natural ou já estar com urbanização implantada quando da execução do projeto. Nesse segundo caso, o projeto deve tratar de novo desenvolvimento ou de melhoria referente ao desenvolvimento urbano ou sistema de drenagem existente.

No caso da área estar em sua situação natural, propõe-se que esse indicador relacione o volume previsto de infiltração para o projeto em estudo com o volume de infiltração médio da área em seu estado natural. Quanto mais próximo do volume infiltrado no estado natural, melhor será a pontuação da alternativa de projeto na avaliação do indicador. O cálculo proposto deve ser realizado com as seguintes expressões:

Se  $V_{\text{inf\_med}} = 0$  ; o indicador assume o valor mínimo.  $I_{\text{qt1}} = 0$ .

Se  $V_{\text{inf\_med}} < V_{\text{inf\_nat}}$  ; utiliza-se a relação entre os dois termos, ou seja:

$$I_{\text{qt1}} = \frac{V_{\text{inf\_med}}}{V_{\text{inf\_nat}}}. \quad (6.1)$$

Em que:

$V_{\text{inf\_med}}$  = Volume infiltrado médio da alternativa de projeto em análise ( $\text{m}^3$ ).

$V_{\text{inf\_nat}}$  = Volume infiltrado na área de projeto em sua situação natural ( $\text{m}^3$ ).

Se  $V_{\text{inf\_med}} \geq V_{\text{inf\_nat}}$  , deve ser feita uma segunda verificação em função da qualidade prevista das águas a serem infiltradas e da vulnerabilidade e nível mais alto do lençol, ou seja, do impacto qualitativo que as águas infiltradas poderiam causar nas águas subterrâneas. Essa segunda verificação deve ser feita em função de critérios técnicos que podem ser aprovados no plano de bacia ou pelo órgão gestor de recursos hídricos responsável pela emissão de outorgas na área. Com base nessas informações, duas situações seriam possíveis:

- Caso não haja problema em aplicar a infiltração com função de recarga de aquífero, o indicador  $I_{\text{qt1}}$  deve assumir o valor máximo para todo sistema que preveja infiltração de volume igual ou superior ao volume médio anual;
- Caso a infiltração de volume superior ao natural possa causar algum risco de poluição para o aquífero, o indicador deve ser calculado utilizando-se o seguinte procedimento:

Se  $V_{\text{inf\_med}} = V_{\text{inf\_nat}}$  ; é assumido o valor máximo para o indicador  $I_{\text{qt1}}$ , ou seja:  $I_{\text{qt1}} = 1,0$ .

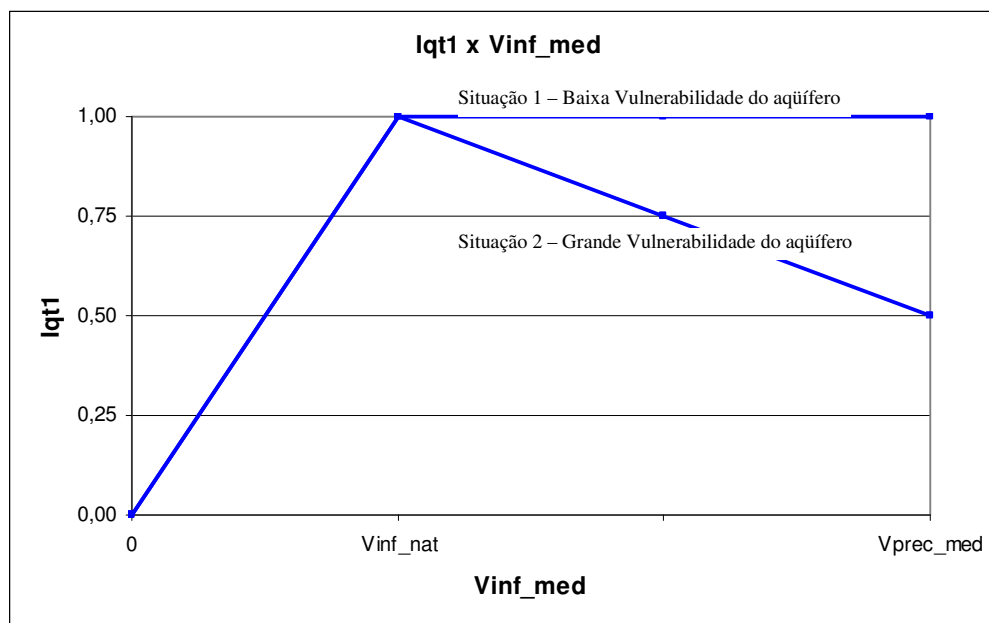
$$\text{Se } V_{\text{inf\_med}} > V_{\text{inf\_nat}} \text{ ; tem-se } I_{\text{qt1}} = 1 - \frac{(V_{\text{inf\_med}} - V_{\text{inf\_nat}})}{2 \cdot (V_{\text{prec\_med}} - V_{\text{inf\_nat}})}. \quad (6.2)$$

Em que:

$V_{\text{prec\_med}}$  = Volume total correspondente à precipitação média anual na área de projeto ( $\text{m}^3$ ).

No caso em que  $V_{\text{inf\_med}}$  tiver seu maior valor possível, ou seja, quando for igual a  $V_{\text{prec\_med}}$  , o indicador  $I_{\text{qt1}}$  assumirá valor igual a 0,5.

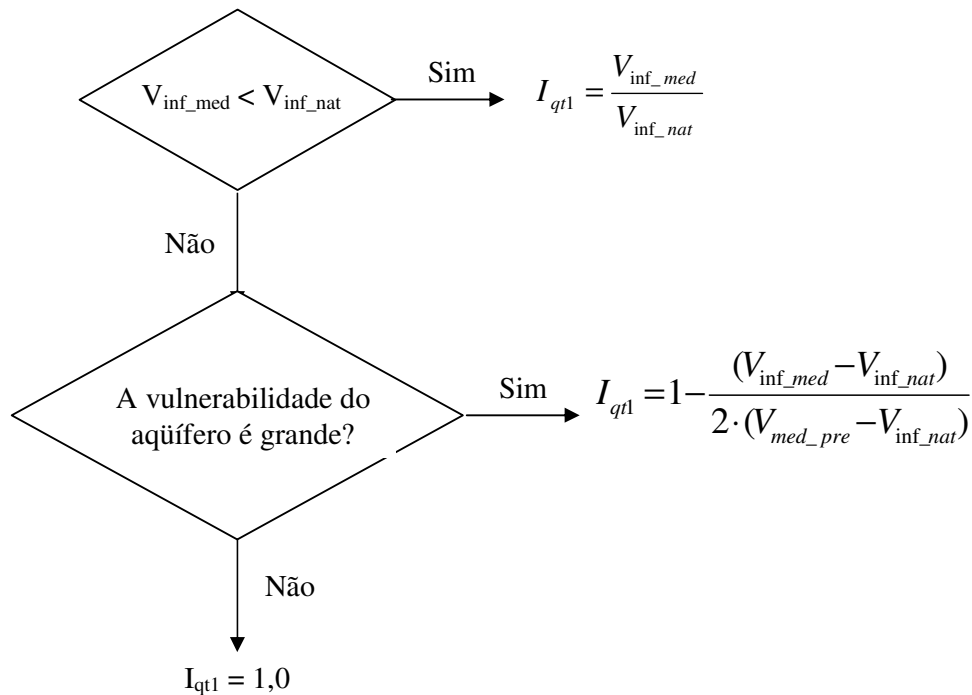
A Figura 6.1 apresenta os resultados possíveis para o cálculo do indicador, em função do volume médio de infiltração anual.



**Figura 6.1** – Indicador  $I_{qt1}$  em função do volume de infiltração

Com base nas expressões propostas e na análise do gráfico da Figura 6.1, pode ser verificado que a proposta para esse indicador é que a pontuação máxima ocorra no caso em que o volume infiltrado médio após a implantação do projeto for igual àquele infiltrado caso a bacia estivesse em sua situação natural. Isso significa dizer que, mesmo com a implantação da urbanização, o volume infiltrado de águas pluviais se manteria o mesmo.

Para a situação em que o volume infiltrado assume valor nulo após a urbanização e sistema de drenagem propostos, o valor desse indicador passa a ser zero. Para os outros casos, deve ser verificada a vulnerabilidade do aquífero à infiltração das águas pluviais, seguindo, para os cálculos, a árvore de decisão apresentada na Figura 6.2.



**Figura 6.2** – Árvore de decisão proposta para o indicador  $I_{qt1}$

Este indicador pode ser calculado de uma forma diferente se a área para a qual é realizado o projeto já estiver urbanizada. Nesse caso, pode não ser a melhor situação ou mesmo pode não ser possível a infiltração de volume correspondente àquele médio anual que seria infiltrado caso a área estivesse em sua situação natural. Sendo assim, nas expressões acima propostas, no lugar do volume de infiltração da área em sua situação natural ( $V_{inf\_nat}$ ), caso seja verificado necessário, pode ser inserido o termo  $V_{inf\_des}$ , correspondente ao volume de infiltração desejável.

A definição entre o volume a ser comparado nesse caso deve constar no plano de bacia, aprovado pelo respectivo Comitê de Bacia. Caso não esteja ainda definido e aprovado o referido plano, recomenda-se que essa definição seja realizada pelo órgão gestor de recursos hídricos responsável pela emissão das outorgas de direito de uso de recursos hídricos.

Para este indicador, propõe-se o índice de veto correspondente ao valor 0,50, baseando-se no entendimento de que o volume de infiltração médio anual da alternativa de projeto não deve ser inferior à metade do volume de infiltração médio anual.

### 6.2.2.2- Comparação entre as vazões mínimas escoadas e as demandas para usos consuntivos adicionadas à vazão mínima remanescente ( $I_{qt2}$ )

Este indicador tem a finalidade de analisar o projeto quanto à disponibilidade de vazões mínimas para atendimento aos usos consuntivos na área e, ainda, para manutenção de vazão remanescente mínima, incluindo as demandas de vazão ecológica e aquela comprometida para outros usos a jusante.

Com essa intenção, propõe-se a utilização das seguintes expressões:

Se  $Q_{\min} \geq Q_{dem} + Q_{rem\_min}$  ; adota-se o valor máximo para o indicador, ou seja,  $I_{qt2} = 1,0$ .

Se  $Q_{\min} < Q_{rem\_min}$  ; o indicador assume o valor mínimo,  $I_{qt2} = 0$ .

Na situação intermediária, em que  $Q_{dem} + Q_{rem\_min} > Q_{\min} \geq Q_{rem\_min}$  , utiliza-se a seguinte expressão:

$$I_{qt2} = 1 - \frac{(Q_{dem} + Q_{rem\_min}) - Q_{\min}}{Q_{dem}} \quad (6.3)$$

Em que:

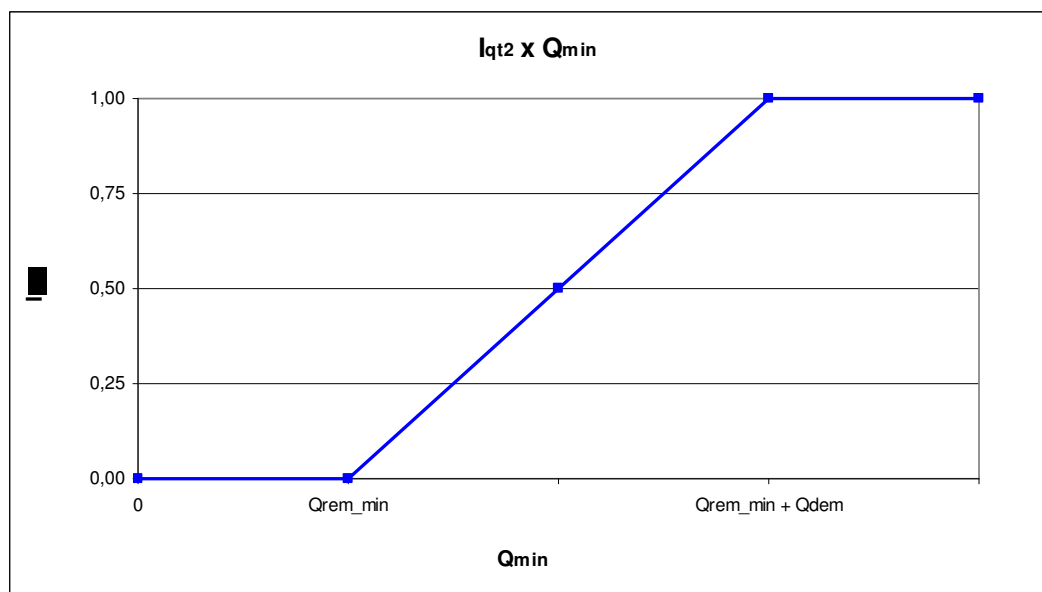
$Q_{\min}$  = Vazão mínima estimada nos cursos de água superficiais na saída da área de projeto, para determinado período de retorno ( $m^3/s$ ).

$Q_{dem}$  = Vazão prevista de demandas na área de projeto para usos consuntivos, com águas superficiais ( $m^3/s$ ).

$Q_{rem\_min}$  = Vazão mínima remanescente, considerando a vazão ecológica de referência utilizada pela autoridade outorgante e as demandas comprometidas a montante e a jusante da área de projeto ( $m^3/s$ ).

Para a determinação da vazão mínima remanescente, propõe-se que seja utilizado o critério do órgão gestor de recursos hídricos responsável pelas outorgas na bacia hidrográfica em questão. Isso significa afirmar que deve ser calculada a vazão de referência mínima para os cursos de água superficiais em que haja a previsão de captação. Além disso, devem ser descontados eventuais usos a montante ou a jusante para os quais esta vazão esteja comprometida.

A Figura 6.3 apresenta os resultados previstos para o cálculo deste indicador, conforme diferentes relações entre as vazões estimadas.



**Figura 6.3** – Valores previstos para o indicador  $I_{qt2}$

Com base na análise das expressões propostas para o indicador e da Figura 6.3, pode ser verificado que ele assume o valor unitário quando a vazão  $Q_{min}$  for superior à soma das vazões  $Q_{dem} + Q_{rem\_min}$ . Quando a vazão  $Q_{min}$  for inferior à vazão  $Q_{rem\_min}$  significa que essa vazão mínima escoada a jusante é inferior à vazão remanescente mínima considerada pelo órgão gestor de recursos hídricos, devendo, nesse caso, o indicador  $I_{qt2}$  assumir valor igual a 0.

Segundo ANA (2004), na maior parte dos sistemas de abastecimento público cerca de 80% das vazões captadas correspondem aos usos efetivamente relacionados ao consumo humano, sendo o restante direcionado a usos para fins comerciais. Com isso, propõe-se a utilização desse valor de 0,80 para a aplicação do índice de veto para este indicador, significando a disponibilidade para atendimento aos usos relacionados ao consumo humano. Entretanto, uma vez que esse percentual pode ser variável para sistemas de abastecimento distintos, quando o analista tiver informações mais adequadas sobre determinado empreendimento, deve ajustar esse índice.

#### 6.2.2.3- Verificação da previsão de reutilização ou recuperação de águas ( $I_{qt3}$ )

O presente indicador tem a finalidade de verificação do projeto quanto à previsão de sistemas de recuperação ou reutilização de águas, que pode ser realizada nas seguintes situações:

- Recuperação e utilização de águas pluviais diretamente em nível de parcela, para fins menos nobres, como rega de jardim ou limpeza de pátios ou mesmo seu tratamento para utilização nos usos domésticos. Essa recuperação pode ser prevista em áreas residenciais, industriais ou até em órgãos governamentais;
- Reúso de águas tratadas de esgotamento sanitário para fins diversos nos casos de áreas industriais;
- Reúso de águas, tratadas ou não, advindas de usos domiciliares para fins menos nobres como limpeza de pátios, lavagem de veículos, reserva de incêndio ou rega de jardim;
- Reúso pela prefeitura ou pelo responsável pela área em projeto, de águas de esgotamento sanitário tratadas para fins de limpeza de áreas públicas como praças, parques ou áreas de lazer.

A proposição deste indicador indica uma pontuação de bonificação para os projetos de desenvolvimento urbano que tenham previsão de reúso ou recuperação de águas, de forma a reduzir a necessidade de captação de água bruta dos mananciais superficiais ou subterrâneos da região. Uma vez tratando de bonificação, os valores previstos para o indicador são variáveis de 0,5 a 1,0 em função da relação entre os volumes de água previstos de reúso ou recuperação e os volumes consumidos pela cidade, conforme as expressões que seguem:

Se  $V_{re} = 0$  ; tem-se a previsão do valor mínimo para o indicador,  $I_{qt3} = 0,5$ ;

Se  $V_{re} < V_{tot\_dem}$  ; deve ser calculado o indicador pela relação dos dois termos, em que:

$$I_{qt3} = 0,5 + \frac{V_{re}}{2 \cdot V_{tot\_dem}} ; \quad (6.4)$$

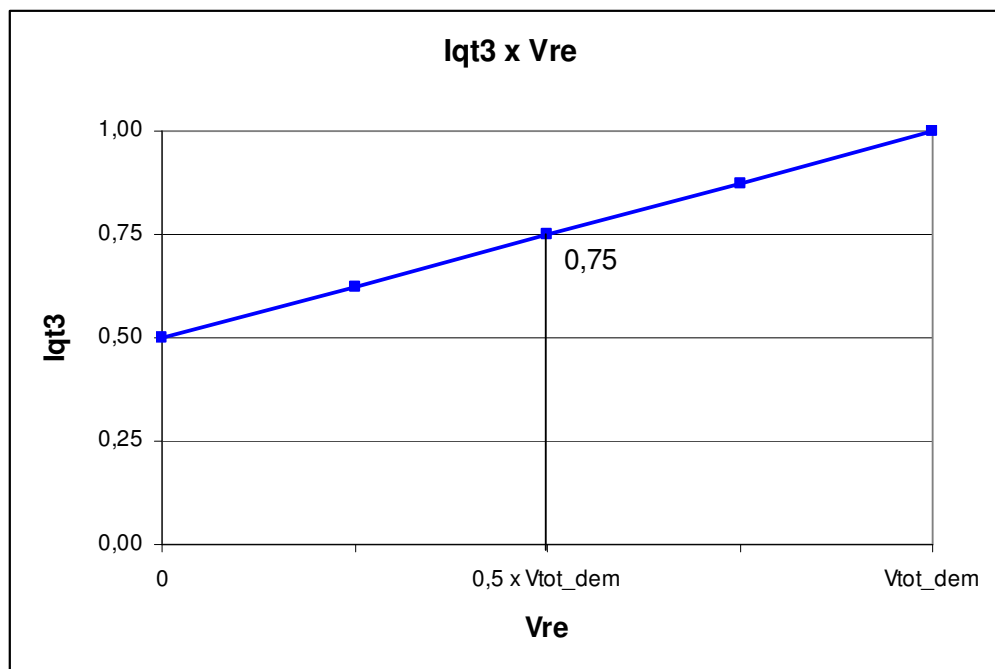
Se  $V_{re} = V_{tot\_dem}$  ; o indicador assumiria o valor máximo, ou seja,  $I_{qt3} = 1,0$ .

Em que:

$V_{re}$  = Volume médio anual previsto de reutilização ou recuperação de águas na área em projeto de desenvolvimento urbano ( $m^3$ );

$V_{tot\_dem}$  = Volume médio anual previsto de demanda de água para os usos múltiplos previstos na área de desenvolvimento urbano ( $m^3$ ).

Com os cálculos previstos, o valor do indicador deverá variar conforme apresentado na Figura 6.4.



**Figura 6.4** – Valores previstos para  $I_{qt3}$  em função do  $V_{re}$

Conforme pode ser verificado pela análise das informações contidas na Figura 6.4, caso não seja previsto nenhum processo de reutilização ou recuperação de águas na área, o indicador assume o valor mínimo de 0,5. Sendo assim, conforme já apresentado anteriormente, o presente indicador assume função de bonificação na análise dos projetos de desenvolvimento urbano que tenham a previsão de implantação de processos de recuperação ou reutilização de águas, sem torná-lo uma restrição ou uma obrigação aos projetistas ou empreendedores. Com essa idéia, é proposta a não aplicação de índice de veto para esse indicador.

### **6.2.3- Indicadores para a avaliação das alterações no regime dos corpos de água**

#### **6.2.3.1- Comparação entre as vazões de pico proporcionadas pela área urbanizada e pela situação natural ou desejável ( $I_{r1}$ )**

O indicador proposto para avaliar este aspecto relaciona a vazão de pico a jusante da área de projeto com a mesma vazão para a área em sua situação natural, considerando o mesmo período de retorno. Propõe-se que, quanto mais próxima da vazão de pico em situação natural, melhor será considerada a alternativa de projeto. A formulação proposta para o cálculo do indicador é a seguinte:



Se  $Q_{pico\_alt} = 0$ ;  $I_{r1} = 0,5$

$$\text{Se } Q_{pico\_alt} < Q_{pico\_nat}; \text{ tem-se: } I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_nat} - Q_{pico\_alt}}{2 \cdot Q_{pico\_nat}} \quad (6.5)$$

Se  $Q_{pico\_alt} = Q_{pico\_nat}$ ; deve se considerar o máximo para esse indicador,  $I_{r1} = 1,0$ .

Se  $Q_{pico\_nat} < Q_{pico\_alt} < K_{aum\_pico} \cdot Q_{pico\_nat}$ , tem-se:

$$I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_alt} - Q_{pico\_nat}}{K_{aum\_pico} \cdot Q_{pico\_nat} - Q_{pico\_nat}} \quad (6.6)$$

Se  $Q_{pico\_alt} \geq K_{aum\_pico} \cdot Q_{pico\_nat}$ ;  $I_{r1} = 0$

Em que:

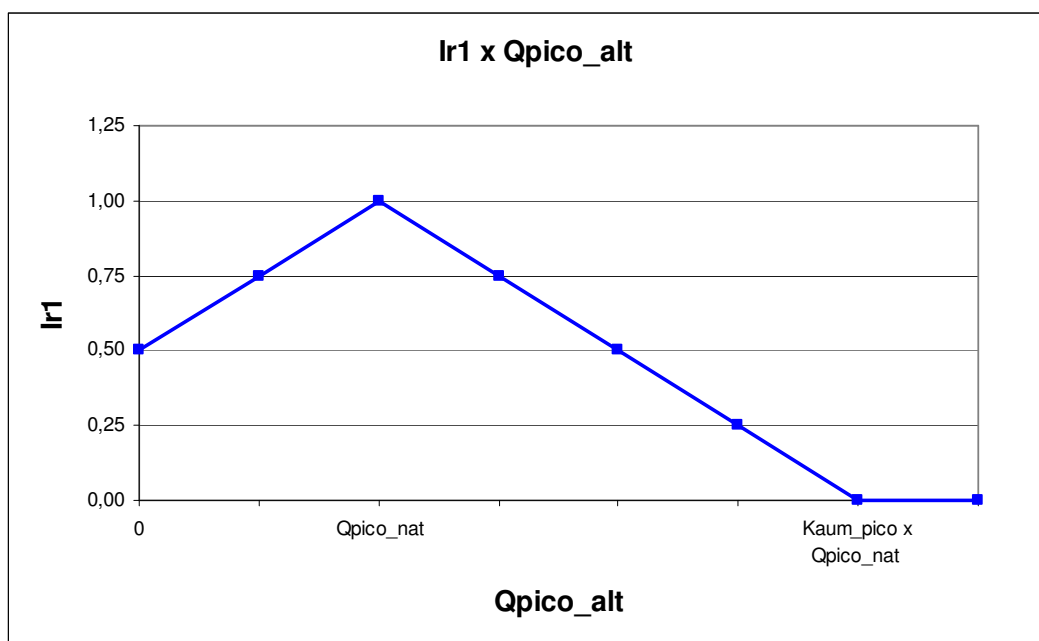
$Q_{pico\_alt}$  = Vazão de pico a jusante da área para o período de retorno de projeto ( $m^3/s$ ).

$Q_{pico\_nat}$  = Vazão de pico para o período de retorno de projeto, estando a bacia em sua situação natural ( $m^3/s$ ).

$K_{aum\_pico}$  = Coeficiente de máximo aumento autorizado de vazão de pico. Valor que pode ser apresentado no plano de bacia e aprovado pelo respectivo Comitê ou, na falta desta aprovação, definido pela autoridade outorgante.

Podem ocorrer casos, entretanto, em que a manutenção de vazão de pico correspondente à natural da área não seja a melhor alternativa, em função da ocorrência de inundações em áreas a jusante. O desenvolvimento urbano e o respectivo sistema de drenagem propostos podem levar à junção da cheia máxima de duas áreas que, anteriormente, tinham tempos de concentração diferentes. Sendo assim, deve ser verificado esse fato com a simulação da modificação do hidrograma de cheia da área de projeto juntamente com aquele referente à bacia hidrográfica que engloba essa área. Nesse caso, deve-se definir a vazão máxima de pico desejável ( $Q_{pico\_des}$ ), em função do novo tempo de concentração alterado pelo desenvolvimento urbano proposto. Essa  $Q_{pico\_des}$  deve ser utilizada nas equações acima no lugar da vazão  $Q_{pico\_nat}$ .

A Figura 6.5 apresenta os resultados possíveis para o indicador, em função das diferentes possibilidades de relação entre a vazão de pico  $Q_{pico\_alt}$  e a vazão  $Q_{pico\_nat}$ .



**Figura 6.5** – Valores possíveis para o indicador  $I_{r1}$

Conforme pode ser verificado pela análise das expressões propostas e da Figura 6.5, entende-se que a melhor situação para este indicador deverá ocorrer quando a vazão de pico da alternativa de projeto for semelhante à vazão de pico para a área em sua situação natural. Nesse caso, a urbanização e o sistema de drenagem tenderiam a manter as vazões máximas de pico da área em seu estado natural.

O valor nulo para o indicador ocorrerá quando a vazão de pico prevista para a alternativa de projeto for superior ao coeficiente definido pela autoridade outorgante como máximo aumento da vazão de pico possível de ser autorizado.

Por outro lado, quando for prevista vazão mínima nula a jusante, para o período de retorno de projeto, após a implantação do desenvolvimento urbano previsto, o indicador assume valor igual a 0,5.

A premissa adotada para a proposição deste indicador é que será melhor o escoamento nulo a jusante ao invés de vazão superior à natural multiplicada por um coeficiente de aumento máximo da  $Q_{pico\_nat}$ .

A proposta para este indicador é a verificação das perturbações realizadas pelo projeto de desenvolvimento urbano na vazão de cheia, no que se refere à sua relação com a vazão de cheia a jusante da área em sua situação natural. Nesse sentido e com a formulação proposta, a vazão de jusante que não poderia ser permitida seria aquela superior à vazão de pico natural ou desejável, multiplicada pelo coeficiente  $K_{aum\_pico}$ . Essa vazão levaria ao valor nulo para o

indicador, devendo esse valor ser considerado como índice de veto, significando um limite máximo para o incremento das vazões de pico a jusante.

#### 6.2.3.2- Comparação entre a vazão de pico e a que causaria inundação a jusante ( $I_{r2}$ )

O segundo indicador proposto para a avaliação das alterações de regime dos corpos de água relaciona a vazão de pico máxima para o período de retorno de projeto com aquela vazão máxima que pode causar inundação a jusante. Para seu cálculo, são propostas as expressões abaixo:

Se  $Q_{pico\_alt} < Q_{inund}$  ; considera-se o valor máximo para a avaliação desse indicador,  $I_{r2} = 1,0$ .

Se  $Q_{pico\_alt} \geq Q_{inund}$  , utiliza-se a seguinte expressão:

$$I_{r2} = \frac{Q_{inund}}{Q_{pico\_alt}} \quad (6.7)$$

Em que:

$Q_{pico\_alt}$  = Vazão de pico para o período de retorno de projeto ( $m^3/s$ ).

$Q_{inund}$  = Vazão que pode causar inundações a jusante ( $m^3/s$ ).

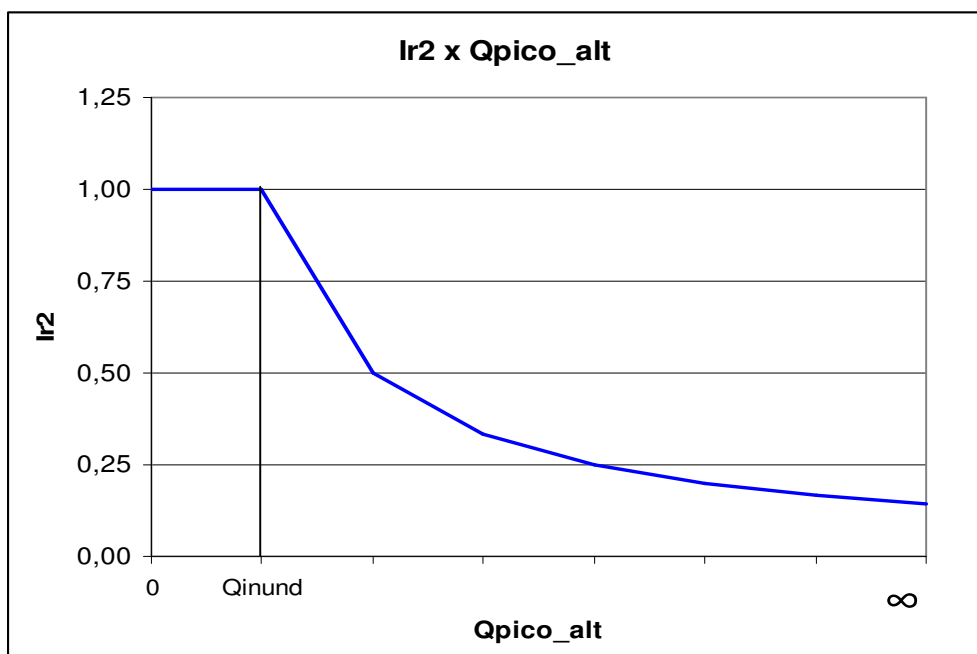
A vazão  $Q_{inund}$  pode ser calculada em função de um rendimento específico máximo em  $L/s.ha^{-1}$ , a ser definido no plano de bacia e aprovado pelo respectivo Comitê. Na ausência da aprovação desse rendimento específico, sugere-se sua definição pelo órgão gestor de recursos hídricos competente para a emissão das outorgas. Com a definição desse rendimento específico, o cálculo da  $Q_{inund}$  deve ser realizado por:

$$Q_{inund} = \frac{R_{esp\_tr} \cdot A_{dren}}{1000} \quad (6.8)$$

$A_{dren}$  = Área de drenagem (ha).

$R_{esp\_tr}$  = Limite máximo de rendimento específico para a região no período de retorno de projeto ( $L/s.ha$ ).

A Figura 6.6 apresenta os valores possíveis para o indicador para vazões de pico variáveis de 0 a  $\infty$ .



**Figura 6.6** – Relação entre as vazões de pico para a alternativa de projeto e o indicador  $I_{r2}$

Este indicador terá seu melhor resultado quando a vazão máxima para a alternativa analisada no período de retorno de projeto for inferior ao limite estabelecido para a vazão possível de causar inundação em área a jusante.

Para a análise quanto ao índice de veto para esse indicador, propõe-se que seja utilizada a idéia de que a vazão de pico a jusante não deve ser superior à vazão que poderia causar inundação. Nesse sentido, o valor do índice de veto deve ser 1,0, em função da formulação proposta para o cálculo do indicador.

#### 6.2.3.3- Verificação do período de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto ( $I_{r3}$ )

O sistema de drenagem proposto para um projeto de desenvolvimento urbano, além de não incrementar processos de inundação em áreas a jusante, deve proteger a área de projeto quanto às inundações previstas com determinado período de retorno. Para isso, as estruturas previstas no referido projeto devem estar adequadamente dimensionadas, conforme períodos de retorno desejáveis.

Com essa idéia, os cálculos propostos para este indicador verificam o período de retorno previsto para as estruturas constantes no sistema de drenagem em comparação com determinado critério técnico aprovado no plano de bacia ou no Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU do município no qual a área está contida. Caso tal critério ainda não esteja

aprovado, deve ser definido pelo órgão gestor de recursos hídricos responsável pela emissão das outorgas na área em questão. A proposição para o cálculo do indicador é a que segue:

Se  $T_{ret\_proj} \geq T_{ret\_des}$ ; o indicador assume o valor máximo, ou seja,  $I_{r3} = 1,0$ .

$$\text{Se } T_{ret\_proj} < T_{ret\_des}; I_{r3} = \frac{T_{ret\_proj}}{T_{ret\_des}} \quad (6.9)$$

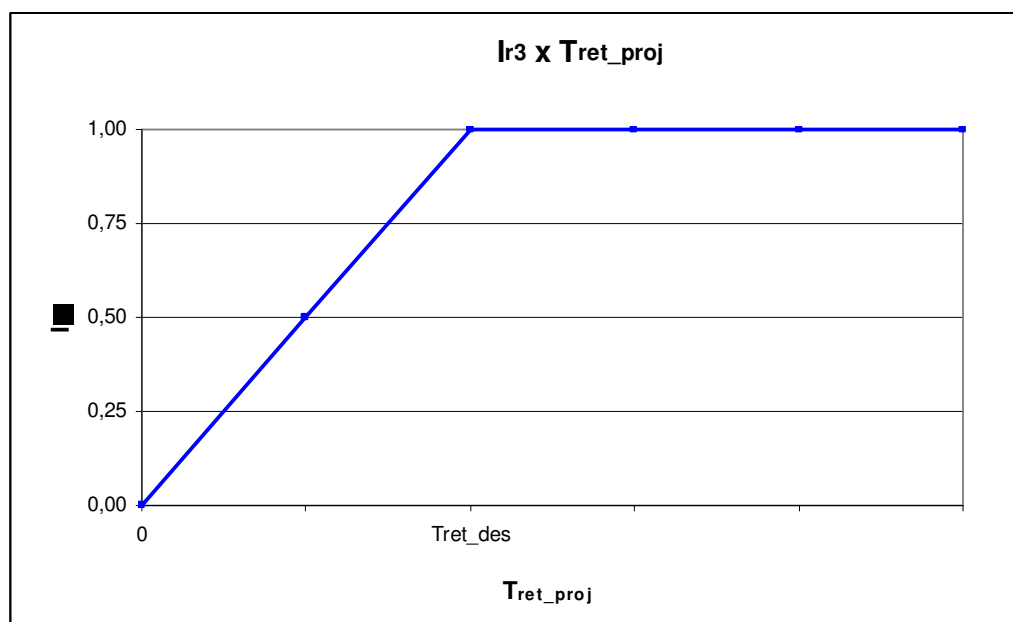
Em que:

$T_{ret\_proj}$  = Período de retorno de projeto para as inundações dentro da área de projeto (anos).

$T_{ret\_des}$  = Período de retorno desejável, aprovado no plano de bacia ou, na ausência deste, definido pelo órgão gestor de recursos hídricos responsável pelas outorgas (anos).

O gráfico da Figura 6.7 apresenta os resultados possíveis para o indicador, em função das diferentes relações entre o período de retorno de projeto e o período de retorno desejável.

Para a verificação do projeto de desenvolvimento urbano quanto a esse indicador, o analista deve avaliar os estudos realizados pelo empreendedor observando os períodos de retorno de dimensionamento de cada uma das estruturas de drenagem. Caso estruturas diferentes sejam dimensionadas para proteção da área com períodos de retorno diferentes, devem ser calculados valores diferentes para o indicador referindo-se a cada uma dessas estruturas e o  $I_{r3}$  deverá ser calculado pela média deles.



**Figura 6.7** – Resultados possíveis do cálculo do indicador  $I_{r3}$

No caso de empreendimentos já implantados em que se deseja avaliar o presente indicador para comparação com um projeto de melhoria, ele pode ser verificado a partir de informações históricas de inundações ocorridas na área. Nesse caso, a partir dos eventos de inundações ocorridas e do período de dados, além de cálculos estatísticos, é possível verificar o período de retorno para o qual a área está, efetivamente, protegida.

Uma vez que a área deve estar protegida quanto ao período de retorno desejável, a proposta para este indicador é que o índice de veto seja igual a 1,0. Esse valor indica que o dimensionamento das estruturas hidráulicas da área não deve ser realizado para períodos de retorno inferiores ao desejável.

#### **6.2.4- Indicadores para a avaliação das alterações na qualidade das águas**

##### 6.2.4.1- Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário ( $I_{qL1}$ )

Para analisar as possíveis alterações causadas pela urbanização na qualidade dos corpos de água existentes na área, o primeiro indicador proposto refere à verificação do padrão de lançamento previsto para as águas de esgotamento sanitário. Entre os efeitos previstos do desenvolvimento urbano está a necessidade de utilização de águas superficiais ou subterrâneas para abastecimento público dos habitantes dessa área. Após esse uso, essas águas devem ser coletadas por um sistema de esgotamento sanitário, levando ao seu lançamento final em corpos de água superficiais.

Sendo assim, propõe-se para a análise desse indicador a verificação das águas de esgotamento sanitário quanto à concentração do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO e sua relação com o limite legal. Apesar da Resolução CONAMA nº357/2005 não determinar limite para esse parâmetro nas águas de lançamento, alguns documentos legais estaduais o fazem, como é o caso da Deliberação Normativa COPAM/MG nº010/86, que estabelece o limite máximo de DBO do efluente lançado correspondente a 60mg/L, no caso do Estado de Minas Gerais.

Para a análise do indicador, devem ser verificadas as vazões previstas para serem coletadas no sistema de coletores e interceptores de esgoto e estimada a concentração média do parâmetro DBO dos lançamentos a serem realizados nos corpos de águas. Essa concentração deve ser estimada em função da previsão ou não de sistemas de tratamento de efluentes e de sua eficiência média.

Sendo assim, propõe-se que sejam realizados os seguintes cálculos para a obtenção do valor para o indicador:

Se  $C_{DBO} \leq C_{DBO\_nat}$ , seria considerado o valor máximo para esse indicador, ou seja,  $I_{qL1}=1,0$ .

$$\text{Se } C_{DBO\_nat} < C_{DBO} < C_{perm\_DBO}; I_{qL1} = 0,5 - \frac{(C_{DBO} - C_{perm\_DBO})}{2 \cdot C_{perm\_DBO}} \quad (6.10)$$

Se  $C_{DBO} = C_{perm\_DBO}$ ; considera-se o valor médio para esse indicador, ou seja,  $I_{qL1}=0,5$ .

Se  $C_{perm\_DBO} < C_{DBO} \leq K_{erro\_DBO} \cdot C_{perm\_DBO}$ ;  $I_{qL1} = 0,5$

Se  $C_{DBO} > K_{erro\_DBO} \cdot C_{perm\_DBO}$ ;  $I_{qL1} = 0$

Em que:

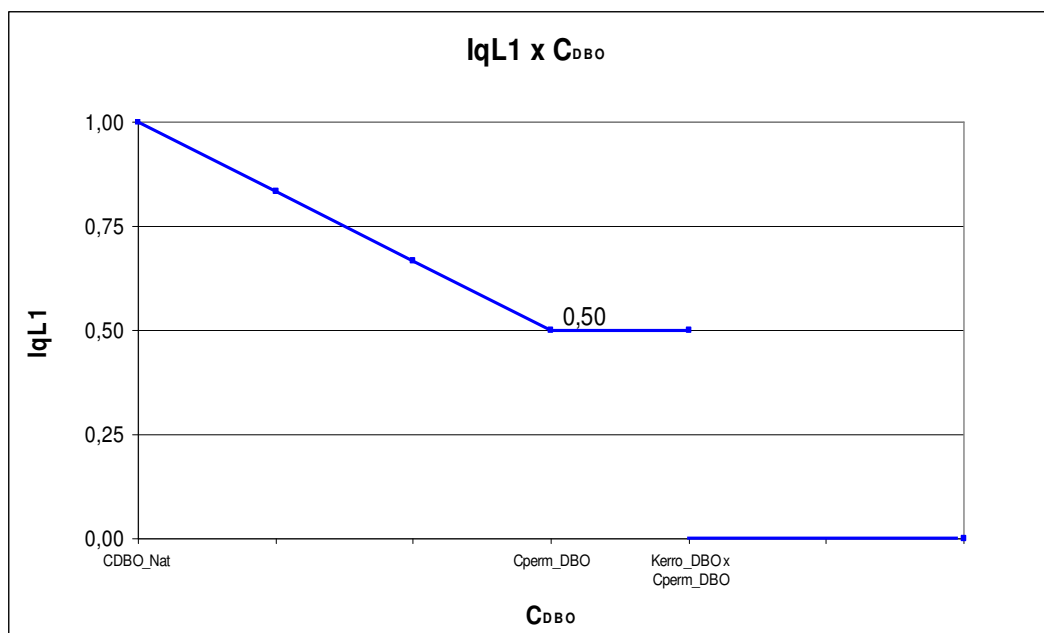
$C_{DBO\_nat}$  = Demanda bioquímica de oxigênio do curso de água em sua situação natural (mg/L).

$C_{DBO}$  = Demanda bioquímica de oxigênio do lançamento previsto (mg/L).

$C_{perm\_DBO}$  = Demanda bioquímica de oxigênio permitida para lançamento das águas de esgotamento sanitário, conforme legislação pertinente (mg/L).

$K_{erro\_DBO}$  = Coeficiente referente à tolerância ou ao erro da estimativa de DBO no efluente a ser lançado (Adimensional).

O gráfico da Figura 6.8 apresenta os resultados possíveis para o indicador, considerando as relações entre a DBO do efluente a ser lançado e a concentração permitida para lançamento de águas de esgotamento sanitário.



**Figura 6.8** – Valores possíveis do indicador  $I_{qL1}$  para diferentes DBO de lançamento

Em função das expressões propostas e do gráfico apresentado na Figura 6.8, pode-se verificar que o valor médio do indicador ocorrerá quando o lançamento proposto tiver DBO semelhante àquela máxima possível de ser autorizada, conforme o documento legal estadual, uma vez que a Resolução CONAMA n° 357/2005 não prevê limite para a DBO do efluente de lançamento. O valor correspondente a 1,0 para este indicador, referente ao maior valor possível de ser assumido, poderia ocorrer quando a DBO do efluente a ser lançado for menor ou igual à DBO do corpo de água em sua situação natural. Quando a DBO de lançamento for superior ao coeficiente referente ao erro da sua estimativa multiplicado pelo valor permitido pela legislação, o indicador  $I_{qL1}$  assume valor nulo, e os valores intermediários são obtidos pelas expressões de cálculo apresentadas anteriormente.

Uma vez que a idéia dessa análise é a verificação da DBO quanto ao critério legal, o proposto para o índice de veto corresponde ao valor do indicador quando a concentração de DBO no efluente a ser lançado for semelhante a esse limite definido em legislação. Nesse sentido, o índice de veto para esse indicador corresponde ao valor 0,50.

#### 6.2.4.2- Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de esgotamento sanitário ( $I_{qL2}$ )

Segundo disposto na Resolução CONAMA n°357/2005, os lançamentos de efluentes podem ser realizados apenas após o devido tratamento, de forma a obedecer a suas condições, padrões e exigências, além de outras normas aplicáveis. Ao *devido tratamento*, é entendido



como aquele que faz com que o lançamento proposto não altere os padrões de qualidade em que o corpo de água receptor está enquadrado.

Nesse sentido, os lançamentos de efluentes de qualquer finalidade de uso devem ser verificados quanto à disponibilidade de vazão de diluição suficiente para que o padrão de qualidade do corpo de água receptor não ultrapasse aquele determinado para sua classe de enquadramento. Com isso, para a implantação de um projeto de desenvolvimento urbano, é relevante que as águas advindas do esgotamento sanitário sejam verificadas quanto a esse critério.

Na avaliação apresentada, propõe-se que esse indicador considere o lançamento de efluentes da urbanização quanto à diluição em relação à DBO, que é um parâmetro importante de verificação da contaminação das águas de esgotamento sanitário. A Tabela 6.1 apresenta os padrões limite de DBO nos cursos de água superficiais para cada uma das classes de enquadramento, conforme Resolução CONAMA nº357/2005.

**Tabela 6.1** – Limites de concentração de DBO nos cursos de água para cada classe de enquadramento

Parâmetro	Padrão limite do curso de água Classe 1	Padrão limite do curso de água Classe 2	Padrão limite do curso de água Classe 3	Padrão limite do curso de água Classe 4
DBO (mg/L)	3,0	5,0	10,0	-

Sendo assim, no primeiro momento, deve ser realizado o cálculo da vazão de diluição para o efluente a ser lançado, em relação ao parâmetro DBO, que mantém a classe de enquadramento do curso de água. Esse cálculo pode ser realizado por meio da abordagem apresentada por Kelman (1997):

$$Q_{dil} = Q_{efl} \cdot \frac{(C_{efl} - C_{perm\_man})}{(C_{perm\_man} - C_{man\_nat})} \quad (6.11)$$

Em que:

$Q_{dil}$  = Vazão necessária para diluir determinado efluente para manter o rio em sua classe de enquadramento (m<sup>3</sup>/s);

$Q_{efl}$  = Vazão do efluente a ser lançado nos corpos de água (m<sup>3</sup>/s);

$C_{efl}$  = Concentração do poluente considerado no efluente lançado (mg/L);

$C_{perm\_man}$  = Concentração do poluente considerado permitida no manancial, conforme enquadramento do curso de água e parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA n.º357/2005 (mg/L).

$C_{man\_nat}$  = Concentração natural do poluente considerado no manancial (mg/L).

A vazão de diluição a ser calculada deverá levar em consideração tratamentos previstos, que poderão reduzir o valor da DBO no efluente do sistema de saneamento a ser lançado nos cursos de água.

Posteriormente, deve ser verificada a disponibilidade hídrica nos mananciais da região para a vazão de diluição calculada como necessária. Essa verificação deve ser realizada com base em vazões de referência mínimas desses cursos de água, já utilizadas para os critérios de outorga para captações de águas superficiais.

Como exemplo pode ser citado o Estado de Minas Gerais, em que a Portaria Administrativa IGAM n.º010/98 estabelece a vazão de referência como sendo a  $Q_{7,10}$  (vazão mínima média de sete dias consecutivos com 10 anos de período de retorno). A mesma portaria estabelece o percentual máximo outorgável para captações superficiais correspondente a 30% da vazão de referência, de forma a manter o escoamento mínimo de 70% em cada curso de água ao longo de todo o tempo. Nesse caso, a vazão de diluição para as águas de esgotamento sanitário deve ser inferior a esse valor e, sendo assim, o cálculo proposto para o indicador é o que segue:

Se  $Q_{dil\_DBO} = 0$ ; considera-se o valor máximo para este indicador, ou seja:  $I_{qL2} = 1,0$ ;

$$\text{Se } Q_{dil\_DBO} \leq Q_{rem\_min} ; I_{qL2} = 0,5 - \frac{(Q_{dil\_DBO} - Q_{rem\_min})}{2 \cdot Q_{rem\_min}} \quad (6.12)$$

Se  $Q_{dil\_DBO} = Q_{rem\_min}$  ; considera-se o valor médio para o indicador, ou seja:  $I_{qL2} = 0,5$ ;

Se  $Q_{rem\_min} < Q_{dil\_DBO} \leq K_{erro\_DBO} \cdot Q_{rem\_min}$   $I_{qL2} = 0,5$ ;

Se  $Q_{dil\_DBO} > K_{erro\_DBO} \cdot Q_{rem\_min}$  ;  $I_{qL2} = 0$

Em que:

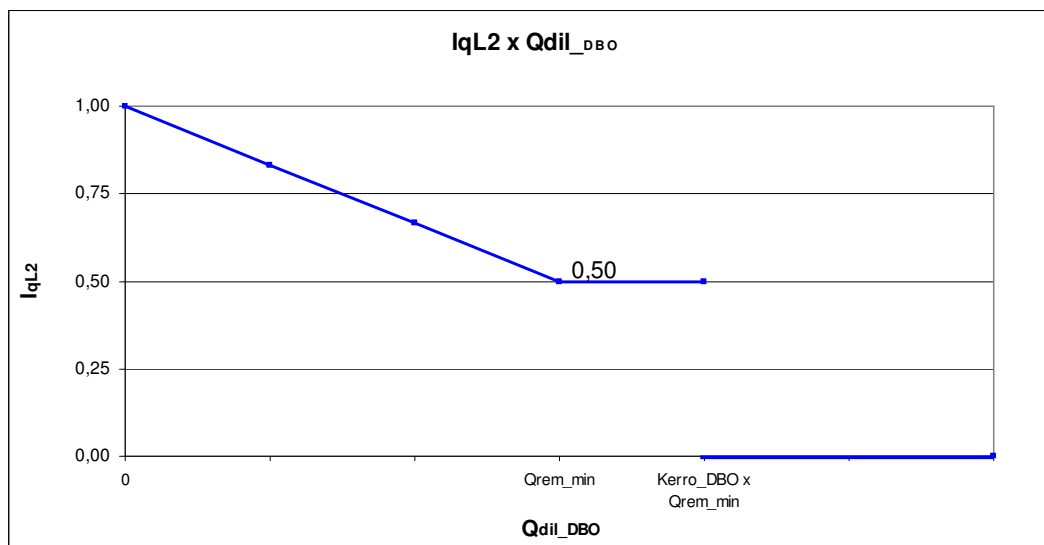
$Q_{dil\_DBO}$  = Vazão de diluição necessária para manter o curso de água em sua classe de enquadramento após o lançamento do esgotamento sanitário da área urbanizada, considerando-se o parâmetro DBO ( $m^3/s$ ).

$Q_{rem\_min}$  = Vazão mínima remanescente, considerando a vazão ecológica de referência utilizada pela autoridade outorgante e as demandas comprometidas a montante e a jusante da área de projeto ( $m^3/s$ ).

$K_{erro\_DBO}$  = Coeficiente referente à tolerância ou ao erro da estimativa de DBO no efluente a ser lançado (Adimensional).

Caso sejam previstos vários lançamentos em corpos de água distintos, a definição da vazão mínima remanescente a ser considerada no cálculo desse indicador deve ser realizada como o somatório das vazões mínimas remanescentes dos corpos de água previstos para utilização como corpos receptores.

A Figura 6.9 apresenta os resultados possíveis para o cálculo do indicador conforme as relações entre a vazão de diluição do esgotamento sanitário para o parâmetro DBO e a vazão remanescente mínima.



**Figura 6.9** – Valores possíveis para o indicador  $I_{qL2}$  conforme a  $Q_{dil\_DBO}$

O resultado da aplicação das expressões acima leva aos valores mostrados no gráfico da Figura 6.9, em que o valor máximo para o indicador ocorrerá quando não houver necessidade de vazão de diluição para o efluente doméstico da área urbanizada em análise. Caso a vazão de diluição necessária corresponda exatamente à vazão mínima remanescente dos corpos a

serem utilizados como receptores, o indicador assume o valor 0,5. Para os valores de vazão de diluição superiores à vazão de referência mínima, considerando-se o erro médio da estimativa de concentração de DBO, o valor previsto para o indicador é nulo.

O valor médio igual a 0,5, considerado na análise, deve ser utilizado como índice de veto para este indicador. Nessa situação, a vazão de diluição para o efluente a ser lançado e que mantém o corpo de água receptor em sua classe de enquadramento será semelhante à disponível.

#### 6.2.4.3- Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de escoamento pluvial ( $I_{qL3i}$ )

Dentre as alterações causadas pela urbanização na qualidade dos corpos de água existentes na área, é relevante a verificação do padrão de lançamento previsto para as águas de escoamento pluvial. Conforme previsto na Resolução CONAMA n°357/2005 e em documentos legais estaduais como a Deliberação Normativa COPAM n°010/86, em Minas Gerais, as águas lançadas nos corpos de água devem ser verificadas quanto a determinados parâmetros de qualidade.

Nesse trabalho, propõe-se que sejam verificados os seguintes parâmetros: DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), sólidos em suspensão, Arsênio e metais pesados (Cobre, Zinco, Chumbo, Cádmio e Cromo). Apesar de não serem previstos limites para o parâmetro referente aos sólidos em suspensão na Resolução CONAMA n.°357/2005, alguns documentos legais estaduais apresentam limites para esse parâmetro, como é o caso da Deliberação Normativa COPAM/MG n.°010/86.

Com base no exposto, as expressões propostas para o cálculo desse indicador são apresentadas a seguir, devendo ser calculado o  $I_{qL3i}$ , correspondendo o  $i$  a cada um dos parâmetros avaliados.

Se  $C_{efl} \leq C_{man\_nat}$  ; é considerado valor máximo para este indicador, ou seja,  $I_{qL3i} = 1,0$ .

Se  $C_{efl} < C_{perm\_lanç}$  utiliza-se a expressão:  $I_{qL3i} = 0,5 - \frac{(C_{efl} - C_{perm\_lanç})}{2 \cdot C_{perm\_lanç}}$  (6.13)

Se  $C_{efl} = C_{perm\_lanç}$  ; considera-se o valor médio para esse indicador, ou seja,  $I_{qL3i}=0,5$ .

Se  $C_{perm\_lanç} < C_{efl} \leq K_{erro\_Pol} \cdot C_{perm\_lanç}$  ;  $I_{qL3i}=0,5$ .

Se  $C_{perm\_lanç} < C_{efl} > K_{erro\_Pol} \cdot C_{perm\_lanç}$  ;  $I_{qL3i}=0$ .

Em que:

$C_{man\_nat}$  = Concentração natural do poluente considerado no manancial (mg/L).

$C_{efl}$  = Concentração do poluente considerado no efluente lançado (mg/L)

$C_{perm\_lanç}$  = Concentração do poluente considerado, permitida para lançamento, conforme Resolução CONAMA n.º357/2005 ou documento legal estadual, quando for o caso.

$K_{erro\_Pol}$  = Coeficiente referente à tolerância ou ao erro da estimativa da concentração do poluente analisado nas águas pluviais a serem lançadas (Adimensional).

A estimativa da concentração de cada poluente pode ser realizada em função da previsão de fatores positivos ou negativos que relacionem o desenvolvimento urbano à produção e/ou redução de carga poluente nas águas pluviais. Para a determinação da concentração dos poluentes previstos, podem ser estimados percentuais de ligações de esgotos nos sistemas de águas pluviais e verificada a poluição referente à presença de lixo despejado nas ruas ou a existência de empreendimentos produtores de poluentes na área de drenagem. Além disso, deve ser verificada a previsão ou não de estruturas que proporcionem tratamento e redução da carga poluente das águas pluviais como filtros, decantadores ou mesmo a utilização de alguma técnica de drenagem com dispositivos de retenção das águas.

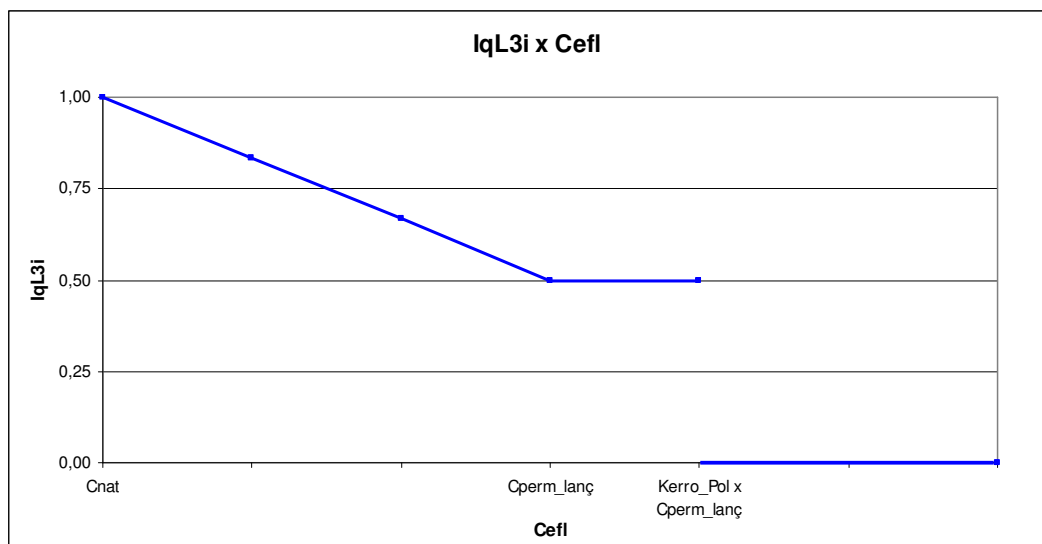
A Tabela 6.2 apresenta os padrões de lançamento e limites de concentração de poluentes nos cursos de água, conforme a Resolução CONAMA n° 357/2005 e, em Minas Gerais, a Deliberação Normativa COPAM n.º010/86.

**Tabela 6.2** – Padrões de lançamento e limites de concentração de poluentes em corpos de água

Parâmetro	Padrão de lançamento DN COPAM n° 010/86	Padrão de lançamento Resolução CONAMA 357/2005	Padrão limite do curso de água Classe 1	Padrão limite do curso de água Classe 2	Padrão limite do curso de água Classe 3	Padrão limite do curso de água Classe 4
DBO (mg/L)	60	-	3,0	5,0	10,0	-
Arsênio (mg/L)	0,2	0,5	0,01	0,01	0,033	-
Cádmio (mg/L)	0,1	0,2	0,001	0,001	0,01	-
Chumbo (mg/L)	0,1	0,5	0,01	0,01	0,033	-
Cobre (mg/L)	0,5	1,0	0,009	0,009	0,013	-
Cromo (mg/L)	0,5	0,5	0,05	0,05	0,05	-
Zinco (mg/L)	5,0	5,0	0,18	0,18	5,0	-

Obs.: Os padrões limites apresentados para as quatro classes de enquadramento são advindos da Resolução CONAMA n.º357/2005

A Figura 6.10 apresenta os resultados possíveis para o cálculo do indicador referente a cada um dos parâmetros avaliados.



**Figura 6.10** – Resultados possíveis dos cálculos de  $I_{qL3i}$  para cada poluente avaliado

O cálculo deste indicador não deve ser influenciado pelo fato da área avaliada estar ou não urbanizada quando do desenvolvimento do projeto. Estando a área urbanizada ou não, os limites de concentração de poluentes para as águas pluviais lançadas não devem ser ultrapassados.

Sendo assim, com base nas expressões acima e na análise da Figura 6.10, este indicador assume o valor máximo igual à unidade quando a concentração de determinado parâmetro nas águas lançadas for igual ou inferior à sua concentração no corpo de água em sua situação natural. O valor mínimo para o indicador é verificado quando a concentração do parâmetro analisado for superior à multiplicação do coeficiente  $K_{erro\_Pol}$  pela concentração permitida em legislação. Este indicador deve ser calculado para todos os poluentes, dentre aqueles apresentados acima, dos quais o analista tiver informações sobre a concentração prevista no escoamento pluvial. O resultado final desse indicador é o menor valor dentre todos os  $I_{qL3i}$  calculados.

Com isso, o seu valor variará entre 0 e 1, conforme os valores calculados para cada um dos poluentes avaliados. Inicialmente, pensou-se na proposição para o cálculo do indicador por meio da média entre as análises referentes a cada um dos poluentes. Entretanto, caso alguns ou apenas um dos poluentes tivessem previsão de concentração acima dos limites legais nas

águas pluviais, o indicador poderia ter seu valor enviesado em função dos outros poluentes com baixa concentração nas águas pluviais.

Conforme apresentado anteriormente, o indicador assume valor correspondente a 0,50 quando a concentração do poluente analisado for semelhante àquela permitida em legislação. Com isso, esse valor de 0,50 deve ser aplicado como índice de veto para a alternativa de projeto em análise.

#### 6.2.4.4- Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de escoamento pluvial ( $I_{qL4}$ )

Este indicador trata da relação entre as vazões de diluição para cada um dos poluentes constantes nas águas pluviais e a vazão de referência do corpo de água receptor nos meses chuvosos. Normalmente, ao analisar pedidos de outorga para lançamentos de efluentes domésticos ou industriais, as autoridades outorgantes comparam a vazão de diluição para o efluente lançado com vazões de referência mínimas do manancial, para determinação da situação mais crítica.

Entretanto, no caso da drenagem urbana, os lançamentos de águas pluviais ocorrerão no período chuvoso. Sendo assim, é proposto no presente trabalho que a vazão de referência do manancial a ser considerada para a diluição das águas de escoamento pluvial seja calculada em função dos meses chuvosos na região. No caso de Minas Gerais, por exemplo, a vazão de referência a ser considerada deve ser relacionada com as vazões ocorridas nos meses de outubro a março.

A vazão de diluição deve ser calculada para cada um dos parâmetros considerados, conforme a expressão 6.11, devendo ser comparada com a vazão de referência calculada para o curso de água durante os meses chuvosos na região. Para isso, as expressões propostas para o seu cálculo são apresentadas a seguir:

Se  $Q_{dil\_plu} = 0$  ; considera-se o valor máximo para o indicador, ou seja:  $I_{qL4i} = 1,0$ ;

Se  $Q_{dil\_plu} < Q_{ref\_chuv}$  ; o indicador é calculado por:

$$I_{qL4i} = 0,5 - \frac{(Q_{dil\_plu} - Q_{ref\_chuv})}{2 \cdot Q_{ref\_chuv}} \quad (6.14)$$

Se  $Q_{dil\_plu} = Q_{ref\_chuv}$ ; considera-se o valor médio para o indicador, ou seja:  $I_{qL4i} = 0,5$ .

Se  $Q_{ref\_chuv} < Q_{dil\_plu} \leq K_{erro\_Pol} \cdot Q_{ref\_chuv}$ ;  $I_{qL4i} = 0,5$ .

Se  $Q_{dil\_plu} > K_{erro\_Pol} \cdot Q_{ref\_chuv}$ ;  $I_{qL4i} = 0$ .

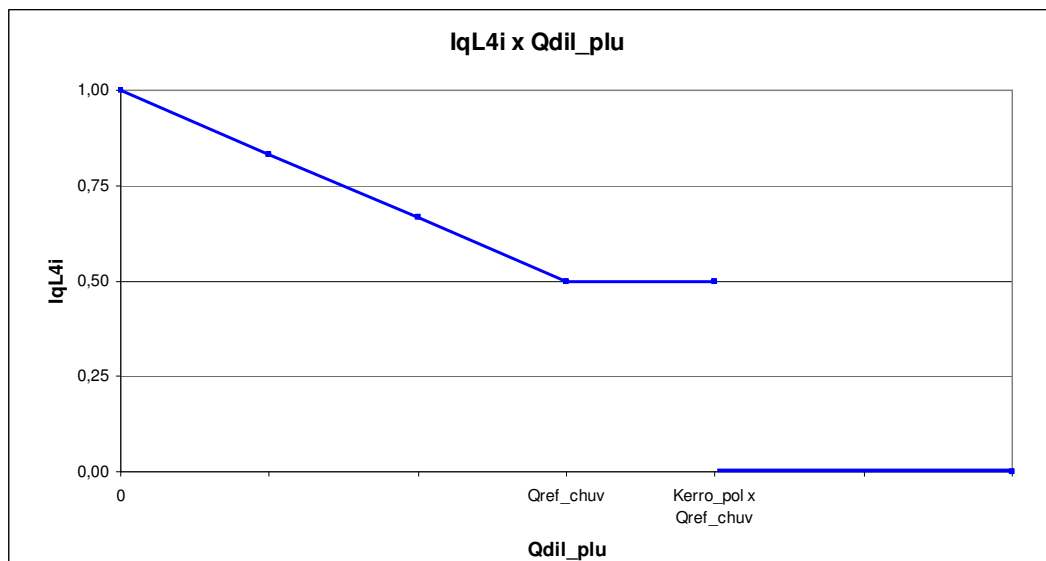
Em que:

$Q_{dil\_plu}$  = Vazão de diluição necessária para determinado lançamento de águas de escoamento pluvial de forma a manter o rio em sua classe de enquadramento ( $m^3/s$ ).

$Q_{ref\_chuv}$  = Vazão de referência do curso de água nos meses chuvosos no ponto em que é realizado o lançamento ( $m^3/s$ ).

$K_{erro\_Pol}$  = Coeficiente referente à tolerância ou ao erro da estimativa da concentração do poluente analisado nas águas pluviais a serem lançadas (Adimensional).

A Figura 6.11 apresenta os resultados possíveis para o cálculo deste indicador para cada um dos parâmetros avaliados.



**Figura 6.11** – Resultados possíveis dos cálculos de  $I_{qL4i}$  para cada poluente avaliado

Assim como para o indicador anterior, o cálculo desse indicador não deve ser influenciado pelo fato da área avaliada estar ou não urbanizada quando do desenvolvimento do projeto. Para sua determinação, estando a área urbanizada ou não, é desejável que as vazões de diluição para cada um dos poluentes sejam inferiores à vazão de referência do curso de água nos meses chuvosos no ponto de lançamento.



Conforme pode ser verificado pela Figura 6.11, propõe-se que o valor igual a um, considerado máximo para esse indicador, seja obtido quando não houver necessidade de vazão de diluição para o poluente analisado. O valor médio ocorrerá quando a vazão de diluição for igual à vazão de referência e o valor nulo será verificado quando a vazão necessária para a diluição de determinado parâmetro for superior à vazão de referência adotada, mesmo considerando o coeficiente de erro na estimativa. Este indicador deverá ser calculado para os mesmos parâmetros considerados para o anterior ( $I_{qL3}$ ), sendo seu valor final obtido pelo menor deles.

O presente indicador tem a particularidade de não poder ser utilizado em situação cuja área de projeto corresponda à própria área de drenagem. Nesse caso, as vazões de diluição para as águas pluviais no período chuvoso serão as próprias águas escoadas, não utilizando outros corpos de água para essa finalidade. Dessa forma, o indicador acaba perdendo a sua eficácia em prol do indicador anterior  $I_{qL3i}$ .

O indicador  $I_{qL2}$ , apresentado anteriormente, tem a finalidade de comparar a vazão de diluição necessária para as águas de esgotamento sanitário com aquela disponível nos corpos de água previstos para serem utilizados como receptores. O cálculo dessa vazão disponível é realizado apenas com base em vazões de referência mínimas, que ocorrerão apenas nos períodos mais secos do ano, não sendo coincidentes com o escoamento das águas pluviais no meio urbano.

O presente indicador faz a verificação da disponibilidade de vazão de diluição suficiente para as águas de escoamento pluvial e considera a vazão de referência sendo calculada com base nas vazões ocorridas nos cursos de água da região no período chuvoso. Sendo assim, caso os lançamentos referentes ao esgotamento sanitário e ao escoamento pluvial sejam realizados nos mesmos corpos de água, deve ser realizada uma adaptação no cálculo do  $I_{qL4}$ .

Nesse caso, propõe-se que seja realizada uma modificação neste indicador no que se refere ao cálculo da vazão de diluição para o parâmetro DBO. Essa situação deverá ocorrer, principalmente, nos casos em que o sistema de esgotamento sanitário for unitário.

No período chuvoso deve ser verificada a disponibilidade hídrica para a soma das vazões de diluição das águas de esgotamento sanitário e escoamento pluvial ao mesmo tempo. O cálculo deve ser realizado da seguinte forma:

Se  $Q_{dil\_plu} + Q_{dil\_DBO} = 0$ ;  $I_{qL4i}$  para o parâmetro DBO assume o valor máximo igual a 1,0;

$$\text{Se } Q_{dil\_plu} + Q_{dil\_DBO} \leq Q_{ref\_chuv}; I_{qL4i} = 0,5 - \frac{(Q_{dil\_plu} + Q_{dil\_DBO} - Q_{ref\_chuv})}{2 \cdot Q_{ref\_chuv}} \quad (6.15)$$

Se  $Q_{dil\_plu} + Q_{dil\_DBO} = Q_{ref\_chuv}$  o indicador assume o seu valor médio, ou seja:  $I_{qL4i} = 0,5$ ;

$$\text{Se } Q_{dil\_plu} + Q_{dil\_DBO} \leq 2 \cdot Q_{ref\_chuv}; I_{qL4i} = 0,5 - \frac{(Q_{dil\_plu} + Q_{dil\_DBO} - Q_{ref\_chuv})}{2 \cdot Q_{ref\_chuv}} \quad (6.16)$$

Se  $Q_{dil\_plu} + Q_{dil\_DBO} > 2 \cdot Q_{ref\_chuv}; I_{qL4i} = 0$

Em que:

$Q_{dil\_plu}$  = Vazão de diluição necessária para determinado lançamento de águas de escoamento pluvial de forma a manter o rio em sua classe de enquadramento ( $m^3/s$ )

$Q_{ref\_chuv}$  = Vazão de referência do curso de água nos meses chuvosos no ponto em que é realizado o lançamento ( $m^3/s$ );

$Q_{dil\_DBO}$  = Vazão de diluição necessária para manter o curso de água em sua classe de enquadramento após o lançamento do esgotamento sanitário da área urbanizada, considerando-se o parâmetro DBO ( $m^3/s$ ).

Nessa situação, o indicador  $I_{qL4i}$  referente ao parâmetro DBO, incluindo as águas pluviais e de esgotamento sanitário, deve ser utilizado como parte do cálculo do indicador  $I_{qL4}$ , substituindo o indicador  $I_{qL4i}$  em que o índice  $i$  for referente a esse parâmetro.

Como índice de veto é proposta a aplicação do valor 0,5, que corresponde ao valor do indicador quando a vazão de diluição para o efluente pluvial que mantiver o corpo receptor em sua classe de enquadramento for semelhante à sua disponibilidade hídrica, conforme a vazão de referência considerada.

### **6.3- Metodologias de análise multicritério**

Uma vez propostos os indicadores, devem ser definidos os parâmetros básicos necessários à aplicação dos métodos multicritério escolhidos e já definidos no capítulo anterior.

Para os dois métodos há a necessidade de atribuição de pesos para os indicadores, referentes à sua importância na análise global. Esses pesos foram atribuídos por meio de consulta a especialistas, conforme será apresentado posteriormente.

Especificamente para o método TOPSIS há a necessidade da definição do coeficiente  $p$  referente à distância a ser considerada do projeto às soluções ideal ou *anti-ideal*. Para a presente análise propõe-se a consideração de distância Euclidiana às soluções ideal e *anti-ideal*, o que leva à adoção de valor igual a 2 para o coeficiente  $p$ . Esse valor foi escolhido por ser o mais aplicado e por ter a vantagem de distanciar seus resultados em relação àqueles que seriam obtidos pelos métodos de soma ponderada fazendo, conforme Moura (2004), com que o valor da escala do indicador tenha menor influência no resultado final.

Para o Electre TRI há a necessidade da atribuição de limiares de indiferença, preferência e veto, em função da utilização de pseudo-critérios. A definição desses limiares deve ser realizada em função da disponibilidade de informações e dos níveis de incerteza das estimativas para os parâmetros de cálculo dos indicadores. Sendo assim, os valores adotados podem ser variáveis para regiões ou bacias distintas. Para o presente estudo, o limiar de indiferença foi definido como 0,05 significando que até 5% de diferença entre os valores calculados para os indicadores e o valor adotado para a alternativa comparada, eles seriam considerados como semelhantes. O limiar de preferência foi adotado como 0,20, em que 20% de diferença entre os valores demonstraria preferência estrita em relação ao valor da alternativa comparada. O limiar de veto não foi adotado para este cálculo uma vez que cada indicador já tinha seu índice de veto analisado anteriormente de forma individual. Sendo assim, foi adotado o valor 0,60, uma vez que o modelo tinha a necessidade de definição de valor para esse limiar. Esse valor foi adotado por ser superior à maior diferença entre os valores dos indicadores do projeto em análise e da alternativa comparada, como será verificado posteriormente.

Outro valor necessário a ser definido para esse método é o Nível de Corte ( $\lambda$ ), utilizado para determinar a classificação da alternativa  $a$  em análise em função de sua comparação com outra alternativa  $b$  e dos Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$ . O valor aplicado para esse parâmetro foi de 0,750 conforme recomendado por Mousseau *et al.* (1999).

#### **6.4- Definição de casos possíveis**

A aplicação dos indicadores nos métodos de análise multicritério objetiva a geração de um resultado que será usado como subsídio à decisão do órgão gestor de recursos hídricos quanto à aceitação do desenvolvimento urbano projetado.

Para isso, propõe-se que a aceitação do projeto em análise seja verificada por meio da sua comparação com uma alternativa fictícia, cujos valores para os indicadores tratem daqueles

referentes aos critérios de análise. Nesse sentido, a avaliação do empreendimento é proposta de forma global, sendo realizada para cada alternativa desenvolvida de forma individual, comparando os resultados da aplicação dos métodos multicritério para seu projeto com aqueles obtidos para a alternativa fictícia considerada. Esse ponto representa aspecto importante da metodologia, possibilitando a avaliação de um projeto mesmo que seja desenvolvida apenas uma alternativa de arranjo.

Para possibilitar a aplicação dos métodos multicritério deve ser realizada análise de importância dos critérios e indicadores, com a finalidade de definição dos seus pesos relativos. Essa análise será apresentada e realizada no próximo capítulo, por meio de consulta a especialistas.

Com base nessas informações, poderão ser aplicados os métodos TOPSIS e Electre TRI e as alternativas de projeto estudadas poderão ser comparadas com a alternativa fictícia incluída na análise. A partir dessa comparação, são propostas três situações possíveis para a decisão das autoridades outorgantes.

1. Alternativas consideradas aceitáveis;
2. Alternativas que podem ser consideradas aceitáveis, mas que necessitam alterações no projeto ou a mitigação de impactos;
3. Alternativas consideradas inaceitáveis.

A primeira situação ocorre nos casos em que a alternativa em análise tiver resultado igual ou superior à alternativa fictícia na ordenação definida pelo método multicritério e, ainda, atender, individualmente, a todos os critérios técnicos referentes às alterações de qualidade, quantidade e regime dos corpos de água. Nesse caso, em um sistema de tomada de decisão, recomenda-se a autorização dessa alternativa de projeto.

Entretanto, podem ocorrer casos em que, na ordenação resultante da aplicação do método de análise multicritério, determinada alternativa seja classificada como superior à fictícia mas, individualmente, não atenda a todos os critérios técnicos dados pelos índices de veto. Esses casos podem ser subdivididos em duas situações em função da possibilidade de alteração no projeto para que todos os critérios sejam individualmente atendidos.

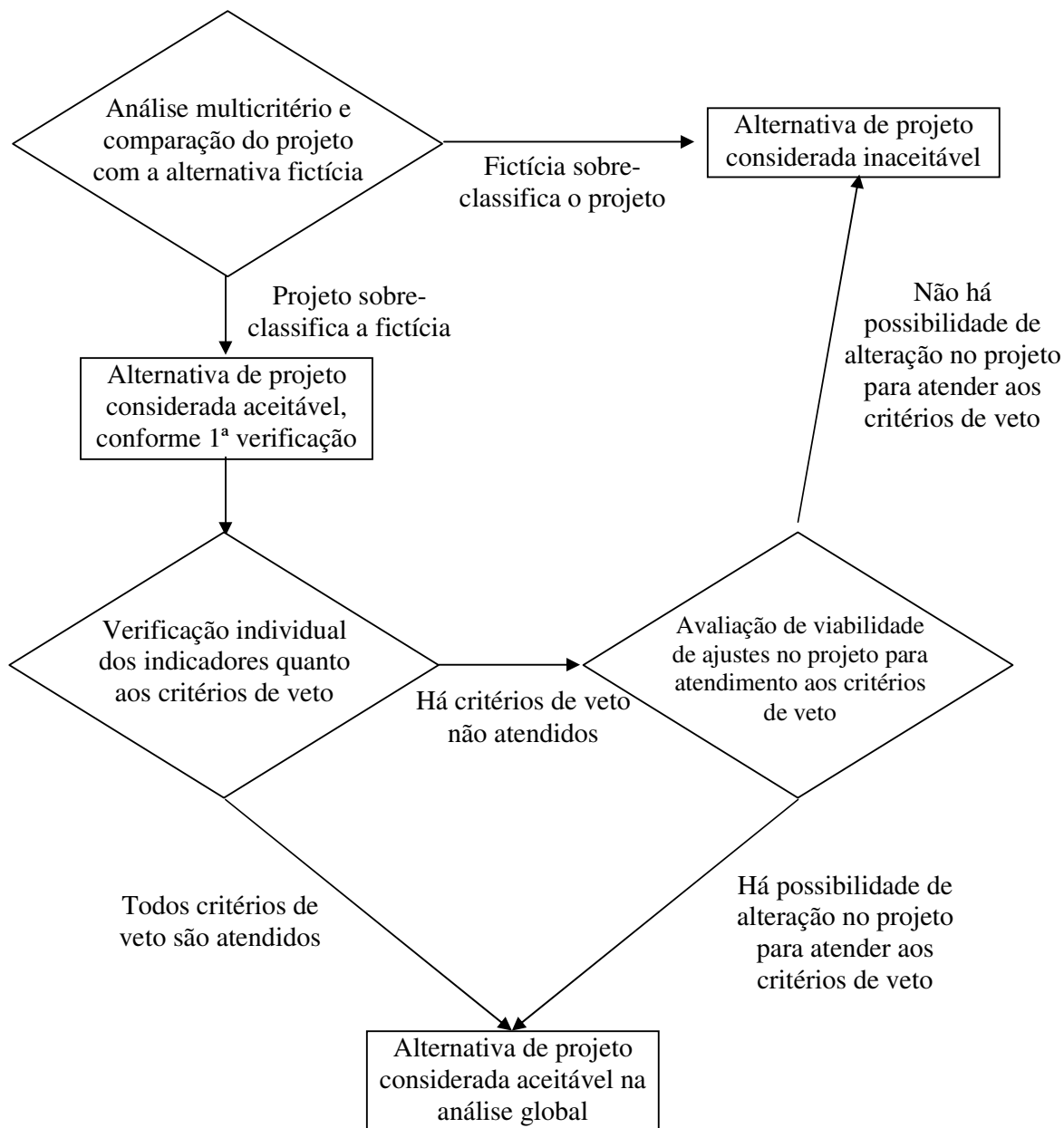
Caso a alternativa de projeto possa ser alterada para atendimento a todos os critérios individualmente, ela seria considerada no segundo caso proposto. Isso significa que em um

processo de tomada de decisão, ela teria recomendação de deferimento com indicação dos pontos em que o projeto deverá ser alterado para atendimento aos critérios.

A alternativa que não puder ter seu projeto alterado para atendimento a todos os critérios técnicos poderá ser considerada aceitável e, conseqüentemente, ter recomendação de autorização, caso seja prevista a inclusão de condicionante de realização ou financiamento de obras para mitigar seus impactos causados nos usos múltiplos, nos usuários afetados com inundações ou nos ecossistemas.

A última situação possível refere às alternativas que forem pior classificadas em relação à alternativa fictícia. Essas alternativas seriam consideradas como inaceitáveis, devendo ser demandados novos estudos a serem realizados pelo empreendedor. Podem ser incluídas nesse caso, ainda, as alternativas que forem melhor classificadas em relação à alternativa fictícia, mas que não atenderem individualmente a todos os critérios e não puderem ser alteradas ou ter seus impactos mitigados.

As possibilidades propostas para os resultados da análise dos efeitos do empreendimento são apresentadas no fluxograma da Figura 6.12, em função das análises multicritério e das verificações individuais quanto ao atendimento aos critérios de veto.



**Figura 6.12** – Fluxograma com as possibilidades de resultados para a avaliação global

Para todos os empreendimentos cuja análise conclua pela recomendação de aceitação do empreendimento, é relevante a inclusão de condicionante, determinando monitoramento quali-quantitativo das águas, objetivando verificação contínua dos parâmetros contidos em projeto e aprovados na análise realizada.

As alternativas propostas como resultado das análises realizadas em um processo decisório podem indicar o deferimento ou não de determinado projeto de urbanização em função da aceitação ou não dos efeitos provocados nos corpos de água.

## **6.5- Aplicabilidade da metodologia proposta em procedimentos de outorga**

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, quaisquer tipos de usos de recursos hídricos que alterem a quantidade, qualidade ou o regime existente em um corpo de água devem ser sujeitos à outorga. Dentre esses usos pode ser enquadrada a urbanização, com a implementação dos sistemas de drenagem urbana. No entanto, nenhuma das autoridades outorgantes estaduais ou a ANA emitem, ainda, documento autorizativo para esse fim, podendo ser considerada dentre as justificativas, a ausência de regulamentação legal e institucional em termos de procedimentos formais ou de procedimentos técnicos definidos especificamente para este fim. Nesse sentido, uma das possibilidades verificadas de aplicação da metodologia proposta trata de procedimentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos para urbanização. Para isso, dentre as proposições do presente trabalho, está o fluxograma formal contemplando os aspectos legais e institucionais necessários à sua implementação.

Inicialmente, é relevante lembrar um dos fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, que refere à definição da bacia hidrográfica como unidade territorial de sua implementação. As intervenções em recursos hídricos realizadas pelo processo de urbanização de uma área podem levar a conseqüências que ultrapassam as divisas da sede da cidade ou mesmo do município, podendo causar problemas de inundação ou de qualidade das águas a municípios situados a jusante. Nesse sentido, os estudos para a drenagem urbana devem ser realizados com o foco nos limites de bacia, de forma a verificar os impactos causados pela urbanização proposta nos corpos de água da bacia em que está inserida.

Para isso, os seus efeitos gerais devem estar previstos nos planos de recursos hídricos, que podem ser elaborados por bacia hidrográfica, por Estado ou para o País. Conforme previsto na Lei Federal nº9.433/97, esses planos devem conter, entre seus produtos, o diagnóstico da situação dos recursos hídricos e a análise de alternativas de crescimento demográfico e de modificações dos padrões de ocupação do solo. Nesse momento, devem ser realizados estudos gerais de alternativas de crescimento das áreas urbanizadas ou para implantação de novas, juntamente com os seus impactos nos recursos hídricos. Esses estudos não devem entrar em detalhes de projetos de sistemas de drenagem para cada uma das áreas de crescimento. De forma geral, esses planos devem recomendar a utilização de sistemas de drenagem que visem a neutralização dos efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos, beneficiando a

qualidade de vida e a conservação ambiental, com a redução dos problemas de inundação e de qualidade das águas.

Os planos de bacias devem fazer recomendações gerais quanto aos sistemas de drenagem mais adequados para a utilização e alguns parâmetros gerais de ocupação do solo. Além disso, esses planos devem prever os padrões máximos de concentração de poluentes e de limites de vazões a serem escoados nas divisas das cidades ou dos municípios. Uma vez que compete aos comitês de bacia aprovarem os seus planos de bacia, nesse momento eles poderão confirmar sua concordância com esses limites e padrões.

Na ausência dos comitês de bacia, os estudos poderão ser realizados pelas autoridades outorgantes com a finalidade de serem apresentados para aprovação pelos respectivos conselhos de recursos hídricos, que têm como atribuição estabelecer critérios de outorgas. Esses estudos devem objetivar o estabelecimento dos limites de vazões e concentração de poluentes de forma a serem aprovados por meio de resolução ou deliberação normativa do respectivo conselho.

Uma das recomendações e deliberações importantes de cada comitê de bacia, resultante dos estudos realizados por ocasião dos planos de bacias, trata da determinação dos municípios prioritários para desenvolvimento de seus Planos Diretores de Drenagem Urbana – PDDU. Em função dos resultados do diagnóstico da situação atual dos sistemas de drenagem e seus impactos negativos previstos ou já existentes nos corpos de água, os comitês podem deliberar pela priorização de áreas para a realização de estudos mais detalhados.

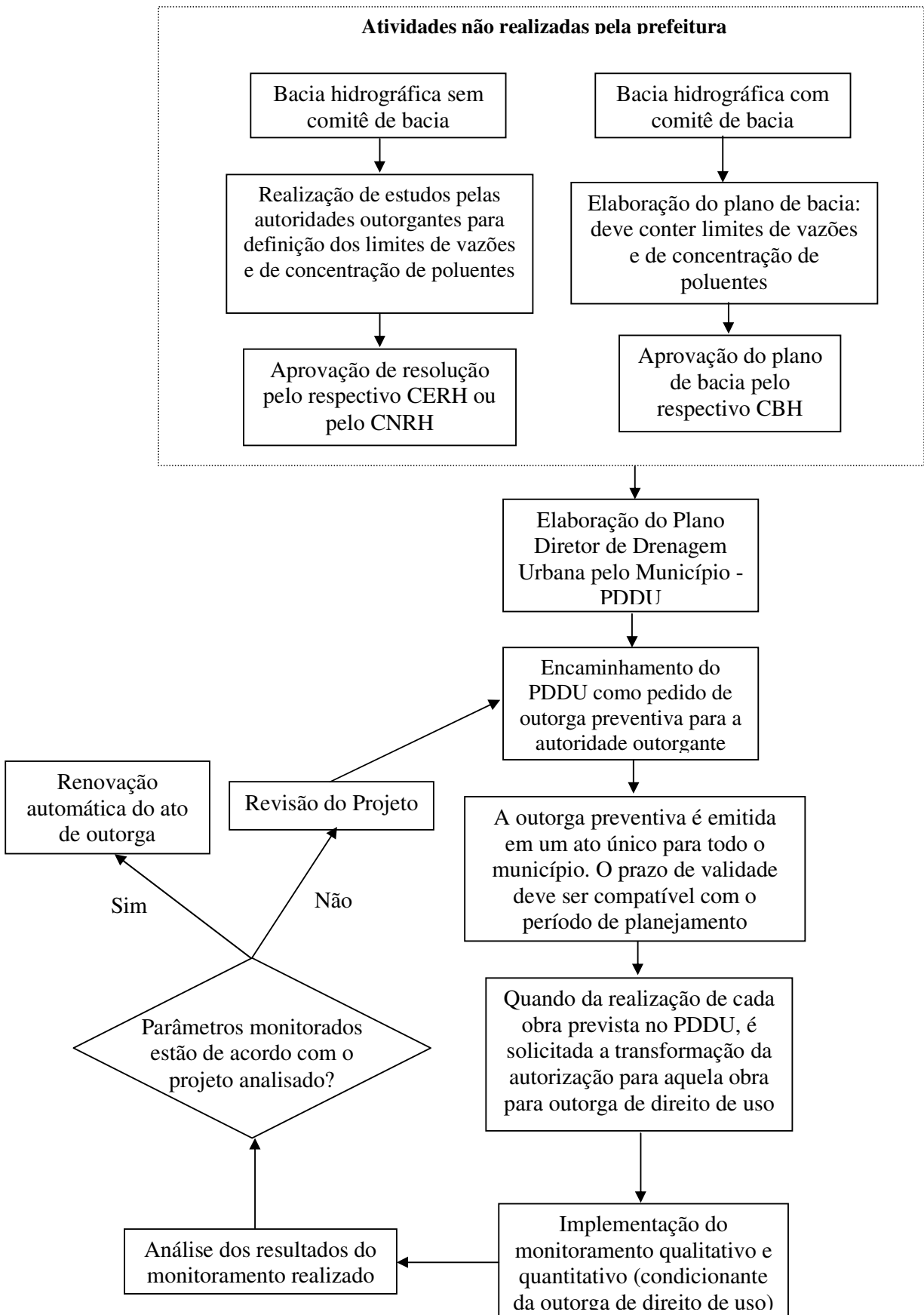
O detalhamento dos estudos para cada município deve ser realizado pelo seu PDDU. No caso das áreas já urbanizadas, devem ser verificados os percentuais e os tipos de ocupação dos lotes, bem como as áreas impermeáveis a serem permitidas. Com base nessas informações, é possível definir, para cada uma das sub-bacias em meio urbano, os impactos previstos a serem causados nos recursos hídricos. E por fim, para cumprimento das metas de qualidade, vazão e volume de escoamento a jusante da área urbana estabelecidas pelo plano de bacia ou pelos conselhos de recursos hídricos, serão propostos os sistemas de drenagem. Nesse caso, os sistemas de drenagem propostos deverão ser adaptados à urbanização existente, aos crescimentos previstos e aos espaços possíveis.

Para as áreas a serem urbanizadas como novos bairros ou condomínios, os limites estabelecidos nos planos de bacias devem ser seguidos com a definição das formas de



ocupação e dos locais em que serão implementados os sistemas de drenagem. Nesses casos, uma vez que as áreas ainda não estão implantadas, há a possibilidade da previsão de sistemas de drenagem que ocupem maiores áreas como bacias de retenção ou infiltração.

A Figura 6.13 apresenta o fluxograma formal proposto para os procedimentos para pedidos de outorga para urbanização.



**Figura 6.13** – Fluxograma proposto para o pedido de outorga para urbanização

Os Planos Diretores de Drenagem Urbana deverão ser os documentos-base a serem encaminhados para as autoridades outorgantes para pedido de outorga preventiva de uso de recursos hídricos. Essa outorga tem a finalidade apenas de declarar disponibilidade hídrica para os usos requeridos, sem conferir o direito de uso. O pedido de outorga deve ser realizado pela prefeitura ou, no caso de condomínios, pode ser realizado pelo seu empreendedor, com autorização da prefeitura, à autoridade outorgante competente. No caso de municípios cuja interferência seja apenas em corpos de água de domínio estadual, a solicitação de outorga deverá ser encaminhada à autoridade outorgante estadual.

No entanto, devem ocorrer alguns casos em que as interferências da urbanização de um município sejam previstas, ao mesmo tempo, em corpos de água de domínio dos estados e da União. Nesse caso, propõe-se que o mesmo PDDU seja encaminhado para as duas autoridades competentes e a análise procedida seja de forma conjunta. Segundo parágrafo 1º do artigo 14 da Lei Federal 9.433/97, o Poder Executivo Federal pode delegar aos estados ou ao Distrito Federal a competência para conceder outorga de direito de uso de recurso hídrico de domínio da União. Sendo assim, a recomendação, nesse caso, deve ser de delegação de competência de outorga da União para o Estado, que deverá emitir a outorga, com base no resultado da análise conjunta e apoio técnico da primeira.

No caso dos sistemas de drenagem urbana, as obras de implantação previstas tratam daquelas a serem realizadas conforme o PDDU aprovado por meio da outorga preventiva. Sendo assim, a outorga preventiva deve ser emitida com prazo de validade compatível com o período de planejamento. Dentro de seu prazo de validade e das disposições contidas na resolução de outorga preventiva, a medida que for necessária a realização de uma obra ou intervenção prevista no PDDU, deve ser solicitada, pela prefeitura, a emissão da outorga de direito de uso de recursos específica. Essa solicitação deve ser realizada com base em projeto executivo da obra ou intervenção a ser realizada.

Atualmente, o prazo de validade máximo da outorga preventiva é de três anos, quando deverá ser transformada em outorga de direito de uso. A outorga de direito de uso tem prazo máximo de dois anos para início de implantação do empreendimento e seis anos para término. Entretanto, conforme parágrafo 2º do artigo 5º da Lei 9.984/2000, esses prazos podem ser ampliados, em função do porte e da importância social e econômica do empreendimento, ouvido o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. Nesse caso, haveria duas possibilidades: a primeira delas seria a emissão de resolução do CNRH aumentando os prazos para início e término da implantação de empreendimento no caso de urbanização de áreas; a

segunda seria uma recomendação de alteração na legislação federal, em que os prazos de validade das outorgas preventivas para urbanização seriam coincidentes com o período de planejamento de seu PDDU.

As outorgas de direito de uso de recursos hídricos deverão ser emitidas, em nome da prefeitura, para as intervenções contidas no respectivo PDDU. No caso de loteamentos ou condomínios, a outorga poderá ser emitida em nome do empreendedor, com a devida autorização da prefeitura. Dentro desses atos administrativos deverá ser prevista a determinação de condicionante de monitoramento de vazões escoadas a jusante e concentração de poluentes, com vistas à verificação de cumprimento dos limites estabelecidos no plano de bacia ou na resolução emitida pelo competente conselho de recursos hídricos. Esse monitoramento deve ser determinado em função dos portes dos empreendimentos e de sua capacidade de implantação, manutenção e operação das estruturas necessárias.

O resultado desse monitoramento deverá ser analisado periodicamente pela autoridade outorgante, de forma a verificar o bom funcionamento dos sistemas de drenagem implantados e o atendimento aos critérios técnicos de projeto. Além disso, ao longo do período de validade das outorgas de direito de uso, com base na análise dessas informações de monitoramento, a autoridade outorgante pode solicitar revisões em determinada parte do projeto. Nesse caso, a prefeitura ou o empreendedor deve realizar novos estudos de melhoria do projeto que, conseqüentemente, deverão ser encaminhados para nova análise da autoridade outorgante e atualização de sua outorga preventiva.

O trâmite proposto na Figura 6.13 deverá ser estabelecido por meio de resolução do CNRH. Trata-se da definição de critério geral para outorga de direito de uso de recursos hídricos, uma competência desse Conselho, conforme Lei Federal nº9.433/97. A finalidade dessa resolução seria o estabelecimento de critérios gerais para a outorga para sistemas de urbanização e drenagem urbana.

No entanto, devem ser estabelecidas disposições transitórias enquanto não houver planos de bacias ou para aquelas bacias que tiverem planos prontos que não contemplem a urbanização e os sistemas de drenagem urbana. Nesses casos, os limites de vazões e volumes máximos e mínimos a jusante devem ser estabelecidos pela autoridade outorgante competente, para cada caso, em função da análise das informações constantes no pedido de outorga. Quanto aos limites de concentração de poluentes, devem ser aplicados aqueles estabelecidos na Resolução CONAMA n.º357/2005. Esse procedimento transitório deve ser realizado, ainda, enquanto os

limites estudados pelas autoridades outorgantes para as bacias sem comitê instalado não estiverem aprovados pelo respectivo conselho de recursos hídricos por meio de resolução ou deliberação normativa.

Em função da inexistência dos planos, a proposta para as prefeituras é a de manter o fluxograma apresentado na Figura 6.13, a partir do encaminhamento do PDDU como solicitação de outorga preventiva de uso. Devem ser estabelecidos prazos para a elaboração e encaminhamento desses PDDU em função dos portes dos municípios e dos problemas de inundação causados pelos sistemas atualmente implantados.

Os procedimentos de outorga devem ser estabelecidos, também, para os empreendedores privados, no caso de condomínios ou loteamentos. No momento da elaboração dos projetos para planejamento desses empreendimentos, devem ser encaminhados os estudos básicos de drenagem urbana, incluindo a urbanização prevista, as técnicas de drenagem a serem implantadas e os limites de concentração de poluentes, vazões e volumes a serem escoados a jusante, relacionados com os mesmos parâmetros para a área em sua situação natural. Essas informações serão analisadas pela autoridade outorgante que emitirá a outorga preventiva de uso com base nesse estudo básico.

Posteriormente, no momento da aprovação da Licença de Instalação do empreendimento no órgão ambiental licenciador, o empreendedor deve encaminhar os projetos executivos das obras para a autoridade outorgante que realizará complementação da análise, visando a transformação da outorga preventiva em outorga de direito de uso de recursos hídricos. Da mesma forma que os procedimentos propostos para as prefeituras, os referentes aos empreendedores privados deverão ser estabelecidos em resolução ou deliberação normativa do respectivo conselho de recursos hídricos.

## **6.6- Considerações finais**

O presente capítulo apresentou a metodologia proposta para a análise dos efeitos de um empreendimento de desenvolvimento urbano nos corpos de água.

Para isso, foram apresentados, inicialmente, os indicadores e critérios propostos para cada uma das possíveis alterações proporcionadas pela urbanização nos corpos de água. Para a agregação dos indicadores e critérios propostos, foram indicados os parâmetros básicos necessários à aplicação dos métodos TOPSIS e Electre TRI.

Posteriormente, foram levantadas as situações possíveis de ocorrer após a aplicação dos indicadores e critérios na metodologia de análise multicritério com a finalidade de subsidiar a decisão do órgão gestor de recursos hídricos quanto à consideração ou não de determinada alternativa de projeto como aceitável.

Finalmente, foi realizada a análise de viabilidade de aplicação da metodologia proposta nos procedimentos de outorga, com base na proposição de fluxograma formal em termos de trâmite, estudos e procedimentos que poderiam ser adotados para solicitação e emissão dos atos de outorgas preventivas e de direito de uso de recursos hídricos.

O próximo capítulo apresenta a sistemática para a verificação da metodologia proposta, realizada por meio de análise crítica incluindo comparação com os sistemas aplicados atualmente, consulta a especialistas, estudos de caso e análises de sensibilidade e robustez, dentre outros procedimentos que levarão à sua consolidação.

## **7- ANÁLISE CRÍTICA DA METODOLOGIA PROPOSTA**

### ***7.1- Introdução***

O presente capítulo objetiva realizar a análise crítica da metodologia proposta por meio da verificação de possíveis problemas na obtenção dos parâmetros básicos e em seus cálculos, no seu entendimento, na pertinência e importância entre os aspectos analisados e na sensibilidade e robustez dos resultados obtidos com sua aplicação.

Primeiramente, é efetuada a comparação da metodologia proposta com aquelas aplicadas atualmente, apresentando e discutindo possíveis avanços e retrocessos apontados, além da sua viabilidade de aplicação nos órgãos gestores de recursos hídricos.

Posteriormente, são apresentados resultados de consulta realizada a especialistas em áreas afins, que buscou o seu entendimento dos aspectos avaliados pelos indicadores, além da verificação da sua pertinência ou ausência de alguma questão relevante ao desenvolvimento urbano e suas alterações provocadas nos corpos de água. Com a consulta aos especialistas foi realizada, ainda, a análise de importância dos indicadores propostos visando a definição de seus pesos relativos à análise global, possibilitando a aplicação dos métodos de análise multicritério.

O próximo item da verificação da metodologia consistiu na sua aplicação em estudos de caso e objetivou verificação da viabilidade de cálculo dos indicadores e da sensibilidade e robustez dos resultados obtidos. Para isso, foram escolhidas duas áreas distintas, com projetos já desenvolvidos utilizando técnicas diversas.

### ***7.2- Comparação da metodologia proposta com aquelas utilizadas atualmente***

A primeira parte da análise crítica da metodologia proposta foi realizada por meio de sua comparação com as análises utilizadas atualmente.

Conforme apresentado nos capítulos anteriores, a verificação de um empreendimento quanto às alterações provocadas nos corpos de água deve ser realizada, conforme a legislação de águas existente, por meio de procedimentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos.

Na revisão bibliográfica realizada para esse estudo, foi apresentada a legislação básica relacionada aos recursos hídricos, no âmbito federal e estadual, assim como a autorização

necessária para a implantação de empreendimentos e os critérios utilizados atualmente. A necessidade de autorização para executar uma intervenção em corpos de água tem previsão legal em todo o País. No entanto, além de não ser emitida, ainda, em todos os estados, há metodologias diversas com critérios variados, às vezes adaptadas apenas a realidades locais, o que pode levar a dificuldade de entendimento por parte dos empreendedores, além do indeferimento de pedidos de atos autorizativos para empreendimentos com impactos semelhantes nos recursos hídricos ou a emissão de atos para outros com impactos relevantes.

Esses aspectos podem levar a maior facilidade de implantação de um empreendimento em um Estado que em outro em função da inexistência ou fragilidade de procedimentos, além de critérios definidos sem o embasamento técnico necessário.

A metodologia proposta tem a possibilidade de aplicação para a análise dos efeitos de qualquer empreendimento de desenvolvimento urbano no País, não importando a sua região. Ela pode ser adaptada aos interesses dos órgãos gestores e a critérios diferenciados, em função de poder considerar valores variáveis por bacia hidrográfica para os limites aceitáveis de cada um dos indicadores.

Quanto aos aspectos relativos à quantidade das águas, constantes da análise de empreendimentos realizada pela maior parte dos órgãos gestores atualmente, são definidas vazões de referência e percentuais máximos que podem ser autorizados para todos os usos múltiplos. As demandas dos empreendimentos são verificadas quanto a critérios de usos insignificantes, além do seu enquadramento dentro do percentual considerado “*outorgável*” da vazão de referência.

No entanto, nessas análises, não são observados aspectos referentes à reutilização de águas residuais tratadas ou à recuperação de águas pluviais para usos dentro da área de projeto. Essa questão é verificada na metodologia proposta e objetiva valorizar a minimização dos consumos na área de projeto por meio do aproveitamento das águas pluviais ou reaproveitamento de águas residuárias tratadas.

Outro aspecto proposto no presente estudo e não considerado nas metodologias atuais é a verificação do volume infiltrado em relação à situação natural ou desejável. A mudança da cobertura vegetal de uma superfície altera o ciclo da água naquela área, notadamente no que se refere ao volume infiltrado. Uma vez tratando de efeitos relevantes causados pela



urbanização, a impermeabilização e seus impactos na recarga de aquíferos devem ser considerados nas análises realizadas.

Quanto aos aspectos referentes às alterações de regime, principalmente em função da urbanização e da drenagem urbana, não foram encontrados critérios técnicos definidos por atos legais ou aplicados nos procedimentos correntes dos órgãos gestores de recursos hídricos atualmente. Segundo os procedimentos verificados nos órgãos gestores consultados, o analista faz sua verificação em função de cada solicitação, não seguindo procedimentos padronizados ou critérios presentes em legislação.

A metodologia proposta prevê a verificação de três aspectos no que se refere às alterações de regime proporcionadas pelos empreendimentos de desenvolvimento urbano, conforme já apresentado anteriormente. As análises visam a assegurar que o empreendimento em questão não amplie cheias ou inundações ou mesmo que reduza aquelas já existentes.

Sendo assim, quanto às alterações de regime, considera-se que a metodologia proposta traz avanços no sentido de criar um procedimento de análise que pode ser aplicado para situações previstas todos os estados.

Conforme análise da legislação apresentada na revisão bibliográfica realizada, o lançamento de efluentes deve ser verificado quanto à sua concentração e aos seus impactos nos corpos de água, não alterando sua classe de enquadramento. No entanto, os poucos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil que fazem análises quanto aos aspectos qualitativos referentes ao lançamento de efluentes aplicam metodologias distintas e, em alguns casos, não verificam de forma direta essas questões.

Os dois aspectos constantes em legislação são contemplados nos indicadores propostos para análise do lançamento de efluentes do sistema de esgotamento sanitário e das águas pluviais. Especificamente no que se refere aos efeitos da qualidade das águas pluviais foi verificado que não são considerados por nenhum dos órgãos gestores atualmente. Sendo assim, podem ser observados avanços na metodologia proposta, possibilitando a consideração de todos os aspectos previstos em legislação. Além disso, tratando-se de indicadores, há a possibilidade de que sejam considerados como adequados valores limites diversos por bacia hidrográfica em função de suas características.

Em síntese, no que se refere aos aspectos técnicos de análise, verifica-se que a metodologia proposta se mostra mais abrangente que as sistemáticas utilizadas atualmente, uma vez que, para as interferências nos corpos de água, são propostos indicadores que consideram aspectos não observados pelos sistemas atuais ou verificados por meio de metodologias distintas.

A possibilidade de aplicação da metodologia proposta em todas as regiões do País foi um avanço verificado relevante uma vez que podem ser definidos limites considerados aceitáveis para os indicadores em função da bacia hidrográfica de intervenção e suas particularidades.

Tratando da análise de forma global, pode ser observada uma diferença sensível da metodologia proposta em relação às sistemáticas aplicadas atualmente. Estes sistemas fazem a análise de cada interferência nos corpos hídricos provocada por um mesmo empreendimento de forma individual. Sendo assim, é possível que um empreendimento tenha uma interferência aprovada num momento e, algum tempo mais tarde, tenha outra interferência indeferida, tornando-o inviável. Um exemplo claro que pode ocorrer com a aplicação dos sistemas atuais é quando um empreendimento recebe uma autorização para captação em determinado corpo de água mas que, quando é solicitada a autorização para o lançamento de efluentes, verifica-se a indisponibilidade hídrica para tal. Esse caso pode levar a uma situação em que o indeferimento da solicitação para o lançamento de efluentes poderia determinar a suspensão de um empreendimento em funcionamento e a exigência por melhor tratamento poderia inviabilizá-lo financeiramente.

A proposta da metodologia é a análise do empreendimento de forma global, verificando, ao mesmo tempo, todas as interferências previstas nos corpos de água. Nesse caso, qualquer interferência considerada inaceitável no que se refere aos recursos hídricos pode ser verificada e tratada no momento da análise do empreendimento como um todo, não causando situação semelhante àquela citada no parágrafo anterior.

Para isso, foi proposta a aplicação de métodos multicritério, o que não é, ainda, usual nas análises dos órgãos gestores de recursos hídricos. Os métodos multicritério podem ser úteis por considerar, na mesma análise, situações de conflitos de interesses que podem ocorrer ao avaliar diferentes aspectos referentes às alterações provocadas nos corpos de água.

No que se refere aos resultados previstos, pode ser verificada outra diferença importante da metodologia proposta em relação às aplicadas atualmente. A metodologia proposta permite três resultados possíveis para a análise global do empreendimento: a consideração como

aceitável, correspondendo ao deferimento; a consideração como inaceitável, levando ao indeferimento; e a consideração de um projeto como aceitável, mas com a necessidade de alterações em determinados aspectos ou a mitigação de impactos. Essa terceira possibilidade leva a uma flexibilidade no resultado da análise sem, entretanto, fazer com que o órgão gestor de recursos hídricos infrinja a legislação de recursos hídricos ou o empreendedor cause impacto inaceitável.

Nesse caso, o empreendimento é considerado como aceitável mas, para que seja implantado, deve ser sujeito a modificações no projeto nos aspectos referentes aos indicadores cujos valores calculados foram inferiores aos limites de veto atribuídos. Esse aspecto demonstra um papel relevante dos indicadores como instrumentos de planejamento uma vez que o empreendedor deverá buscar, ao desenvolver um projeto, o atendimento aos limites mínimos considerados de veto para cada um deles.

O resultado intermediário entre a consideração do empreendimento como aceitável ou inaceitável aporta, ainda, um benefício para a discussão entre o empreendedor e o órgão gestor de recursos hídricos, dando possibilidade ao primeiro de aperfeiçoamento do projeto caso sejam verificados valores baixos em alguns indicadores, sem causar problemas à análise global do empreendimento.

Essa análise global do empreendimento leva, entretanto, à necessidade de mais informações do empreendedor e de definição de limites legais para cada um dos indicadores por parte dos analistas. Esse aspecto pode levar a uma maior complexidade da metodologia proposta em função do maior número de informações necessárias.

As questões relacionadas à disponibilidade de informações para os cálculos dos indicadores são verificadas nos próximos itens, por meio de estudos de caso. No entanto, a metodologia foi proposta de forma que a ausência de informações para o cálculo de algum indicador não inviabilize a sua aplicação, podendo ele ser suprimido da análise global. Nesse caso, de acordo com a disponibilidade e qualidade das informações para a determinação de parâmetros básicos no cálculo dos indicadores, algum deles pode ser desconsiderado sem prejuízo da análise global do empreendimento. Esse procedimento pode ser efetivado de forma simples, bastando a verificação nos pesos dos indicadores considerados na análise multicritério.

Por fim, vale ressaltar que a aplicação da metodologia proposta nos procedimentos rotineiros dos órgãos gestores de recursos hídricos pode permitir a sua adaptação à realidade de cada

Estado e bacia hidrográfica brasileira. Esse aspecto é relevante uma vez que a metodologia se mostra flexível, suscetível de incorporar avanços ao longo do tempo pois, com sua aplicação cotidiana, poderão ser verificados novos indicadores a serem incluídos ou outros que podem ser melhorados ou suprimidos ao longo do tempo.

Sendo assim, no que concerne à comparação da metodologia proposta em relação aos procedimentos aplicados atualmente pelos órgãos gestores de recursos hídricos, foram verificados diversos avanços, notadamente tratando da maior abrangência e flexibilidade proporcionada pela análise global dos empreendimentos realizada com o auxílio de indicadores.

### **7.3- Consulta a especialistas**

#### **7.3.1- Introdução**

Para a análise e verificação dos indicadores propostos, uma das atividades realizadas foi a sua avaliação por especialistas na área, que teve os seguintes objetivos principais:

- Verificação da pertinência dos indicadores propostos frente aos aspectos relevantes às alterações proporcionadas nos recursos hídricos pelo desenvolvimento urbano;
- Verificação da ausência de aspecto relevante dentre aqueles verificados pelos indicadores propostos;
- Análise de importância dos indicadores propostos.

Nos próximos itens serão apresentados a metodologia utilizada e os resultados obtidos com a avaliação realizada.

#### **7.3.2- Metodologia**

Para esse trabalho, foram identificados, no primeiro momento, os principais atores de possível participação em um processo decisório em que a metodologia proposta poderia ser aplicada. De acordo com o objetivo da análise dos indicadores, diferentes atores poderiam ser envolvidos no processo e teriam diferentes níveis de participação. Os seguintes atores foram identificados como possíveis usuários dos indicadores propostos, em diferentes níveis:

- Técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos;
- Técnicos e administradores de prefeituras e de concessionárias de sistemas de abastecimento de água ou coleta de esgotos;

- Representantes de comitês de bacias hidrográficas;
- População;
- Projetistas e consultores de obras ou estruturas referentes ao desenvolvimento urbano;
- Pesquisadores.

A utilização dos indicadores pelos técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos deverá ocorrer em diferentes níveis. No trabalho corrente do dia-a-dia, os indicadores deverão estar aptos para ser utilizados como ferramentas para a verificação da viabilidade dos empreendimentos de desenvolvimento urbano, no tocante às suas interferências nos corpos de água. Ao longo do tempo, com a utilização constante dessas ferramentas, esses técnicos devem realizar avaliações periódicas dos indicadores objetivando verificar a sua eficácia como suporte à decisão. Nesse caso, com suas avaliações, esses técnicos podem retroalimentar o sistema com ajustes identificados nos indicadores. Após a implantação de um empreendimento, com as informações de monitoramento, esses técnicos podem utilizar os indicadores, ainda, para a verificação da adequada construção e do comportamento da área urbanizada quanto a sua influência nos corpos de água.

Os técnicos de prefeituras ou concessionárias de sistemas de abastecimento de água ou coleta de esgotos deverão ser os responsáveis pela verificação dos valores dos indicadores após a implantação dos empreendimentos e sua concordância com os valores apresentados em projeto, ao longo de sua vida útil.

Quanto aos representantes de comitês de bacias hidrográficas, são aqueles que irão aprovar os planos diretores de bacias hidrográficas. Esses planos de bacias podem propor metas de qualidade e vazões escoadas a jusante das áreas urbanas, sendo idealizadas por meio de indicadores que, posteriormente, deverão ser seguidos na concepção dos projetos de novas áreas a serem urbanizadas ou na definição de áreas sujeitas a melhorias.

O desenvolvimento urbano é marcado pela formação de um núcleo habitacional em uma determinada área, com a necessidade de implantação de estruturas para captação, tratamento e distribuição de água para seu abastecimento, de um sistema de drenagem e de coletores, interceptores, tratamento e lançamento final de efluentes. Nesse sentido, a população pode ser considerada causa e conseqüência das interferências provocadas pela urbanização nos corpos de água. No papel de causadora das interferências, ela deve seguir parâmetros básicos de projeto, que podem ser determinados por meio de indicadores, para que suas obras implantadas sejam de forma aceitável. No caso de indicadores técnicos como os propostos na

presente pesquisa, considera-se que a participação da população é restrita à discussão de valores limites dos indicadores a serem seguidos na implantação de obras, de forma que sejam aceitáveis por ela, sem levar, entretanto, à exclusão de indicadores ou à proposição de novos.

Os projetistas poderão ser considerados como usuários dos indicadores, no momento em que, para conceber os projetos de obras ou estruturas previstas para o desenvolvimento, farão com que sejam aceitáveis conforme os parâmetros estabelecidos pelos outros atores. Uma forma bastante utilizada de definir os parâmetros de sustentabilidade ou considerados aceitáveis a serem seguidos nos projetos é a determinação de valores considerados adequados para cada um dos indicadores.

Os pesquisadores são os responsáveis pelo desenvolvimento de novas técnicas de drenagem urbana, tratamento de água e efluentes, dentre outras estruturas presentes no meio urbano. Para a verificação e comparação das novas tecnologias desenvolvidas e o acompanhamento do desempenho das estruturas já existentes, é relevante a utilização de indicadores sendo desenvolvidos, na maior parte do tempo, por esses atores. Os pesquisadores devem ser responsáveis, ainda, pela verificação da eficiência e eficácia da utilização dos indicadores existentes na comparação de alternativas de projeto, propondo, quando necessário, a melhoria dos indicadores.

Em síntese, há vários tipos de atores que participarão, em níveis diferentes, do processo decisório proposto e, conseqüentemente, utilizarão os indicadores com objetivos diversos em suas atividades. Parte desses atores tem a previsão de utilização desses indicadores como parâmetros básicos para a concepção de projetos, como é o caso dos projetistas ou consultores. No caso dos técnicos de prefeituras e concessionárias de sistemas de águas e esgotos, aplicarão os indicadores para monitoramento de sistemas implantados. Outros atores, como os representantes de comitês de bacias hidrográficas e a população, deverão participar no momento de definição de valores limites para os indicadores que considerem aceitáveis para as obras a serem implantadas dentro do desenvolvimento urbano. Por fim, os pesquisadores e os técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos serão aqueles efetivamente responsáveis pelo estudo e proposição de novos indicadores, além da verificação de sua eficácia no processo decisório. Com essa idéia, considerou-se relevante para o presente processo de análise dos indicadores propostos, a participação de representantes de órgãos gestores de recursos hídricos e entidades de pesquisa.

Dentre os primeiros, foram escolhidos aqueles pertencentes à ANA ou aos estados que possuíam metodologia de análise de processos de outorga já definida para usos como captação de águas superficiais e exploração de águas subterrâneas. Essa identificação ocorreu de forma que os participantes tivessem subsídio à sua avaliação em relação à viabilidade de aplicação dessa metodologia. Nesse sentido, foram consultados representantes da ANA e de 11 estados.

Ao mesmo tempo, foram escolhidos para consulta pesquisadores com atividades na área e que já possuem o conhecimento das técnicas convencionais e alternativas de drenagem, das outras estruturas hidráulicas presentes em meio urbano, além de realizarem estudos para o desenvolvimento de novas técnicas ou para a definição de melhores arranjos de projeto. Esses pesquisadores foram escolhidos dentre algumas universidades brasileiras em função de sua produção científica e estudos desenvolvidos na área. Ao todo foram consultados pesquisadores de 10 universidades diferentes.

Para a consulta realizada, foi preparado um documento base, que está apresentado no Apêndice II, explicando os objetivos da pesquisa e da metodologia proposta, além da sistemática prevista de verificação da proposição. No que se refere aos indicadores, foram apresentados os principais aspectos relacionados, além do objetivo de sua verificação. Não foi encaminhada a formulação de cada indicador, mas foi informado que, caso o especialista tivesse interesse e entendesse necessário para sua análise, poderia solicitar seu envio posterior. Esse procedimento foi adotado de forma a minimizar o tempo de análise do especialista.

O documento foi encaminhado para cada um dos especialistas identificados, solicitando sua avaliação da proposição quanto à pertinência dos aspectos avaliados e uma proposição de pesos para os indicadores.

No que se refere à definição dos pesos para os indicadores, foram buscadas, inicialmente, as técnicas possíveis. Existem muitas técnicas de ponderação para avaliar a importância relativa entre os critérios de análise. As principais delas são as seguintes (adaptado de Simos, 1990):

- Hierarquização de critérios: os critérios devem ser colocados em categorias pré-definidas, como “muito importante”, “medianamente importante” e “pouco importante”;
- Classificação dos critérios do mais importante ao menos importante, de forma ordinal;
- Notação: a cada um dos critérios é dada uma nota, de 1 a 10;

- Relação de importância: é avaliada a importância dos critérios através da comparação entre eles, dois a dois;
- Distribuição de pesos. É definido um valor para a soma dos pesos, que deve ser distribuído entre eles, por exemplo 10, 100 *etc.*

Cada um desses métodos tem suas vantagens e desvantagens, constituindo, às vezes, um dos pontos mais fracos dos métodos de apoio à decisão. Com isso, a atribuição dos pesos para o presente estudo foi realizada por meio de metodologia utilizando um conjunto daquelas apresentadas acima.

O primeiro aspecto considerado foi a solicitação aos especialistas que a soma dos pesos de todos os indicadores fosse igual a 100. A definição de um valor limite para a soma dos pesos fez com que os especialistas tivessem a necessidade de comparar os indicadores entre si.

Outra indicação aos especialistas para a definição dos pesos foi que primeiro comparassem os critérios quantidade, qualidade e regime, atribuindo a importância entre eles. Posteriormente, eles deveriam comparar os indicadores referentes a cada critério dividindo, entre eles, os valores já atribuídos. Dessa forma, esperou-se que a avaliação realizada fosse a mais clara e transparente possível e ao mesmo tempo simples.

Por fim, foram solicitadas aos especialistas, observações quanto à metodologia, aos indicadores, à pertinência dos aspectos avaliados ou a ausência de algum ponto relevante.

Os próximos item apresentam os resultados obtidos com o envio dos questionários aos especialistas.

### **7.3.3- Análises quanto aos pesos atribuídos**

Conforme apresentado anteriormente, os questionários foram encaminhados para representantes da ANA, técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos, além de pesquisadores de universidades brasileiras. Desses especialistas, obtivemos respostas de 5 pesquisadores, correspondendo a 50% do total enviado, e 10 técnicos de órgãos gestores, totalizando 6 órgãos gestores estaduais, além da ANA, o que equivale a 64% dos questionários encaminhados. Um dos representantes de órgãos gestores estaduais encaminhou apenas os comentários, sem atribuir pesos para os indicadores. Considerando-se o prazo estabelecido de quarenta e cinco dias para os especialistas e que todos os contatos foram realizados por meio de Internet, os percentuais de respostas recebidas foram considerados



adequados. A relação dos especialistas que responderam os questionários é apresentada no Apêndice I.

As tabelas 7.1 a 7.10 apresentam os pesos arbitrados pelos especialistas consultados e estatísticas básicas desses valores. Vale ressaltar que o número referente ao pesquisador ou ao gestor não é relacionado com a ordem de seu nome na listagem apresentada no Apêndice I, que está em ordem alfabética.

**Tabela 7.1 – Pesos arbitrados pelos pesquisadores por critério de análise**

<b>Critério</b>	<b>Pesq. 1</b>	<b>Pesq. 2</b>	<b>Pesq. 3</b>	<b>Pesq. 4</b>	<b>Pesq. 5</b>
Alterações na quantidade	30	25	27	30	25
Alterações no Regime	30	45	45	30	50
Alterações na Qualidade	40	30	28	40	25

**Tabela 7.2 – Estatísticas básicas dos pesos arbitrados pelos pesquisadores por critério**

<b>Critério</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Alterações na quantidade	27,40	27,00	2,51	9,2%
Alterações no Regime	40,00	45,00	9,35	23,4%
Alterações na Qualidade	32,60	30,00	6,99	21,4%

A análise das informações constantes nas tabelas 7.1 e 7.2 mostra pouca variação nos pesos arbitrados para o critério referente às alterações na quantidade das águas. No que se refere às alterações na qualidade e no regime, o desvio padrão entre os valores arbitrados foi superior, mostrando maior variação nos interesses, apesar dos valores dos pesquisadores 1 e 4 e dos pesquisadores 2, 3 e 5 serem concordantes entre si. Isso levou a valores próximos entre as medianas e médias para cada um dos critérios.

A seguir, são apresentados os valores arbitrados pelos pesquisadores para os pesos de cada um dos indicadores propostos.

**Tabela 7.3 – Valores arbitrados pelos pesquisadores para os indicadores**

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Pesq. 1</b>	<b>Pesq. 2</b>	<b>Pesq. 3</b>	<b>Pesq. 4</b>	<b>Pesq. 5</b>
Alterações na quantidade	I <sub>qt1</sub>	10	9	9	10	5
	I <sub>qt2</sub>	5	13	9	10	5
	I <sub>qt3</sub>	15	3	9	10	15
Alterações no Regime	I <sub>r1</sub>	15	10	15	12	15
	I <sub>r2</sub>	10	20	15	9	25
	I <sub>r3</sub>	5	15	15	9	10
Alterações na Qualidade	I <sub>qL1</sub>	5	12	7	20	10
	I <sub>qL2</sub>	5	6	7	12	2,5
	I <sub>qL3</sub>	15	8	7	4	10
	I <sub>qL4</sub>	15	4	7	4	2,5

**Tabela 7.4 – Estatísticas básicas dos valores arbitrados pelos pesquisadores para os indicadores**

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Quantidade	I <sub>qt1</sub>	8,60	9,00	2,07	24,1%
	I <sub>qt2</sub>	8,40	9,00	3,44	40,9%
	I <sub>qt3</sub>	10,40	10,00	4,98	47,9%
Regime	I <sub>r1</sub>	13,40	15,00	2,30	17,2%
	I <sub>r2</sub>	15,80	15,00	6,76	42,8%
	I <sub>r3</sub>	10,80	10,00	4,27	39,5%
Qualidade	I <sub>qL1</sub>	10,80	10,00	5,81	53,8%
	I <sub>qL2</sub>	6,50	6,00	3,50	53,8%
	I <sub>qL3</sub>	8,80	8,00	4,09	46,4%
	I <sub>qL4</sub>	6,50	4,00	5,02	77,3%

A análise das informações constantes nas tabelas 7.3 e 7.4, mostra que, apesar dos pesquisadores 1 e 4 concordarem nos pesos para os critérios, os pesos para os indicadores apresentam grande variação, notadamente no que se refere aos indicadores ligados às alterações de qualidade das águas. Tratando dos pesquisadores 2, 3 e 5, que também tiveram boa concordância na importância distribuída entre os critérios, podem ser verificadas grandes variações entre alguns deles, notadamente os indicadores I<sub>qt3</sub>, I<sub>qL2</sub> e I<sub>qL4</sub>. Quanto ao indicador I<sub>qt3</sub>, o pesquisador 2 comentou que o baixo valor atribuído foi decorrente da pequena influência da reutilização de águas na vazão escoada dos corpos de água superficiais. No que se refere aos indicadores referentes às águas pluviais (I<sub>qL3</sub> e I<sub>qL4</sub>), o pesquisador 2 comentou que os pesos atribuídos foram inferiores aos pesos dos indicadores que tratam dos efeitos do lançamento de efluentes (I<sub>qL1</sub> e I<sub>qL2</sub>) em função do menor tempo de influência dos primeiros.

De modo geral, os desvios padrão foram mais altos para os indicadores referentes aos aspectos de qualidade das águas, notadamente aqueles referentes às águas pluviais. Os que atribuíram pontuação mais alta para esses indicadores comentaram tratar-se de aspectos não

avaliados atualmente e de consideração relevante nas novas análises. Ao contrário, os que deram baixa importância justificaram ter sido em função da escassez de informações.

Uma vez que os cinco pesquisadores consultados têm suas pesquisas no mesmo domínio, pensou-se na possibilidade de que as diferenças nos valores poderiam ocorrer em função da sua região de trabalho. Apenas os pesquisadores 3 e 5 são de universidades na mesma região do País e, apesar dos valores dos pesos atribuídos para os critérios serem semelhantes, a importância determinada para os indicadores mostrou diferença sensível. Sendo assim, não foi possível verificar a influência da região de pesquisa nos pesos atribuídos.

As tabelas 7.5 e 7.6 apresentam os pesos arbitrados pelos gestores para os três critérios de análise propostos.

**Tabela 7.5** – Pesos arbitrados pelos representantes de órgãos gestores de recursos hídricos por critério de análise

<b>Critério</b>	<b>Gest. 1</b>	<b>Gest. 2</b>	<b>Gest. 3</b>	<b>Gest. 4</b>	<b>Gest. 5</b>	<b>Gest. 6</b>	<b>Gest. 7</b>	<b>Gest. 8</b>	<b>Gest. 9</b>
Alterações na quantidade	30	35	35	40	20	40	50	40	30
Alterações no Regime	30	20	30	30	40	25	30	25	40
Alterações na Qualidade	40	45	35	30	40	35	20	35	30

**Tabela 7.6** – Estatísticas básicas dos pesos arbitrados pelos representantes de órgãos gestores de recursos hídricos por critério

<b>Critério</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Alterações na quantidade	35,56	35,00	8,46	24%
Alterações no Regime	30,00	30,00	6,61	22%
Alterações na Qualidade	34,44	35,00	7,26	21%

Com base nas informações constantes nas tabelas 7.5 e 7.6, pode ser verificado que, na maior parte das análises realizadas pelos técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos, não há grandes variações nos pesos atribuídos para os critérios. No critério referente a alterações na quantidade, a maior parte dos valores esteve dentro do intervalo de 30 a 40, excetuando-se aqueles atribuídos pelos especialistas 5 e 7, cujos valores foram de 20 e 50, respectivamente. O valor mais alto para o desvio padrão foi obtido em função desses dois valores. Da mesma

forma ocorreu com o critério referente às alterações na qualidade das águas. A maior parte dos pesos atribuídos está dentro do limite de 30 a 40, excetuando-se os especialistas 2 e 7, que atribuíram valores fora desse intervalo. No caso do critério referente às alterações no regime das águas, os valores atribuídos tiveram maior variação entre os especialistas, uma vez que todos os valores variaram entre 20 e 40. Esses fatos contribuíram para que os valores obtidos para as médias fossem próximos das medianas e para a verificação de que esses valores devem simbolizar o interesse da maioria.

Uma vez que os especialistas consultados eram de regiões diferentes, foi realizada análise para as regiões Nordeste e Sudeste do País, que tiveram maior número de respostas para os questionários. Os especialistas 1 a 3 foram da região Nordeste do País e, por meio da análise de suas informações atribuídas, foi verificado que deram maior peso aos aspectos relativos à qualidade das águas. Essa preocupação decorre, talvez, da baixa disponibilidade hídrica dos corpos de água na região, para serem usados para diluição de efluentes domésticos ou de águas pluviais. Quanto aos especialistas 6 a 9, da região Sudeste deram maior importância aos indicadores referentes a aspectos quantitativos, o que pode ser explicado, possivelmente, pela dificuldade para atendimento às demandas para abastecimento público das grandes cidades da região.

Sendo assim, em função das variações por região, por tipo de especialista e por análise, a sua aplicação em situação real deve ser seguida de atribuição criteriosa de pesos específica por bacia hidrográfica. Essa ponderação a ser aplicada na análise de empreendimentos para cada bacia hidrográfica deve ser realizada por meio de consulta e discussão entre os participantes de processo decisório em questão, com subsídio técnico dos órgãos gestores de recursos hídricos.

**Tabela 7.7** – Valores arbitrados pelos representantes de órgãos gestores de recursos hídricos para os indicadores

Critério	Indicador	Gest.	Gest.	Gest.	Gest.	Gest.	Gest.	Gest.	Gest.	Gest.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Alterações na quantidade	I <sub>qt1</sub>	5	15	10	15	10	10	20	15	12
	I <sub>qt2</sub>	10	5	15	15	5	16	20	10	12
	I <sub>qt3</sub>	15	15	10	10	5	14	10	15	6
Alterações no Regime	I <sub>r1</sub>	10	7	10	10	10	10	10	7	20
	I <sub>r2</sub>	10	7	15	10	20	8	10	8	10
	I <sub>r3</sub>	10	6	5	10	10	7	10	10	10
Alterações na Qualidade	I <sub>qL1</sub>	10	10	10	5	5	7	15	10	10
	I <sub>qL2</sub>	15	15	15	10	15	15	5	10	10
	I <sub>qL3</sub>	10	8	5	5	5	5	0	8	5
	I <sub>qL4</sub>	5	12	5	10	15	8	0	7	5

**Tabela 7.8** – Estatísticas básicas dos valores arbitrados pelos representantes de órgãos gestores de recursos hídricos para os indicadores

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Quantidade	I <sub>qt1</sub>	12,44	12,00	4,33	35%
	I <sub>qt2</sub>	12,00	12,00	5,05	42%
	I <sub>qt3</sub>	11,11	10,00	3,89	35%
Regime	I <sub>r1</sub>	10,44	10,00	3,81	36%
	I <sub>r2</sub>	10,89	10,00	4,11	38%
	I <sub>r3</sub>	8,67	10,00	2,06	24%
Qualidade	I <sub>qL1</sub>	9,11	10,00	3,10	34%
	I <sub>qL2</sub>	12,22	15,00	3,63	30%
	I <sub>qL3</sub>	5,67	5,00	2,83	50%
	I <sub>qL4</sub>	7,44	7,00	4,45	60%

As informações constantes nas tabelas 7.7 e 7.8 apresentam os valores atribuídos pelos técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos para os pesos dos indicadores propostos e suas estatísticas básicas. As medianas são bastante próximas das médias, mostrando não haver valores muito díspares entre aqueles atribuídos para cada um dos indicadores. Isso pode ser verificado com base nos valores obtidos para o desvio padrão, na grande maioria entre 30 e 40% das médias dos indicadores. Apenas no caso dos indicadores referentes à qualidade das águas pluviais, podem ser verificadas maiores amplitudes nos valores arbitrados. Isso pode decorrer, principalmente, do comentário de alguns especialistas acerca de dificuldade de obtenção de informações para sua estimativa, como foi o caso do especialista 7, que atribuiu peso nulo para esses indicadores por considerar difícil sua mensuração. De qualquer forma, os valores baixos para os desvios padrão e as baixas diferenças entre as médias e medianas possibilitam a aplicação desses valores como interesse da maioria.

As tabelas 7.9 e 7.10 apresentam um resumo das médias calculadas para os pesos atribuídos pelos pesquisadores, gestores e pelo conjunto de especialistas.

**Tabela 7.9** – Médias dos valores arbitrados pelos especialistas por critério

<b>Critério</b>	<b>Média Pesquisadores</b>	<b>Média Gestores</b>	<b>Média (todos especialistas)</b>
Alterações na quantidade	27,40	35,56	33,23
Alterações no Regime	40,00	30,00	31,79
Alterações na Qualidade	32,60	34,44	35,57

A análise das informações da Tabela 7.9 permite constatar a tendência de maiores valores para os pesos arbitrados pelos pesquisadores para as alterações de regime, ao contrário dos pesos dos gestores, que seriam maiores para as alterações de quantidade. Isso pode ocorrer em função dos pesquisadores que responderam os questionários terem a maior parte de seus

estudos em drenagem urbana. No caso dos gestores, a maior importância para as alterações de quantidade pode ser explicada em função da situação atual, em que a maior parte dos órgãos gestores de recursos hídricos tem analisado apenas os aspectos referentes à disponibilidade hídrica quantitativa para atendimento aos empreendimentos.

**Tabela 7.10** – Médias dos valores arbitrados pelos especialistas por indicador

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Média Pesquisadores</b>	<b>Média Gestores</b>	<b>Média (todos especialistas)</b>
Quantidade	I <sub>qt1</sub>	8,60	12,44	11,07
	I <sub>qt2</sub>	8,40	12,00	10,71
	I <sub>qt3</sub>	10,40	11,11	10,86
Regime	I <sub>r1</sub>	13,40	10,44	11,50
	I <sub>r2</sub>	15,80	10,89	12,64
	I <sub>r3</sub>	10,80	8,67	9,43
Qualidade	I <sub>qL1</sub>	10,80	9,11	9,71
	I <sub>qL2</sub>	6,50	12,22	10,18
	I <sub>qL3</sub>	8,80	5,67	6,79
	I <sub>qL4</sub>	6,50	7,44	7,11

Acompanhando a tendência observada na Tabela 7.9, os resultados constantes na Tabela 7.10 mostram que os pesquisadores atribuíram pesos maiores para os indicadores referentes às alterações de regime enquanto os gestores determinaram maiores pesos para os indicadores de quantidade das águas. No caso dos indicadores referentes às alterações na qualidade das águas, pode ser observada maior tendência de concentração dos pesos sobre os indicadores referentes ao lançamento de efluentes domésticos, principalmente pelos gestores, pela dificuldade de obtenção de informações de qualidade das águas pluviais.

### **7.3.4- Análise quanto aos comentários dos especialistas**

Conforme apresentado anteriormente, foi solicitado aos especialistas, a análise quanto à pertinência dos aspectos avaliados ou a ausência de algum ponto que entenderiam como relevante. A maior parte dos especialistas que respondeu os questionários apresentou comentários sobre os indicadores propostos, o que foi importante para a discussão e reavaliação dos aspectos considerados na metodologia proposta.

Em relação à metodologia aplicada, inicialmente pensou-se em aplicar sistemática tipo Delphi para a consulta aos especialistas, de forma que cada um deles pudesse ter possibilidade de verificação de suas respostas, com base nas dos outros. No entanto, a análise dos comentários apresentados pelos especialistas, dos valores atribuídos para os pesos incluindo seus desvios padrão e coeficientes de variação, do percentual de respostas e do tempo gasto pelos

especialistas levou à conclusão de que a metodologia aplicada deve ser pertinente para o propósito em questão. De qualquer forma, as análises dos comentários de cada um dos especialistas foram encaminhadas para verificação, sendo que alguns responderam que estavam de acordo e outros que não encaminharam respostas. A seguir, será realizada análise dos comentários apresentados pelos especialistas.

Dentre as avaliações recebidas, quatro não apresentaram observações quanto aos aspectos avaliados pelos indicadores ou comentaram apenas que os indicadores contemplaram todos os possíveis impactos na quantidade, qualidade e regime dos corpos de água.

Tratando das outras avaliações, um dos especialistas comentou que o indicador  $I_{qL4}$ , referente à verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de escoamento pluvial, poderia ter maior importância quando o lançamento dessas águas ocorrer em lagos ou reservatórios ou logo a montante deles. Nessa situação, deveria ser exigido um melhor conhecimento do tipo de lançamento e de seus impactos no lago ou reservatório em função do maior tempo de detenção do escoamento nesses ambientes. Esse especialista sugeriu, então, a verificação da possibilidade de dar maior importância à análise desse indicador nessa situação. Com efeito, os pesos atribuídos para os indicadores podem ser dinâmicos, com variação prevista em função da bacia hidrográfica ou do corpo de água receptor.

Outro especialista comentou sobre a importância atual dada no Brasil à questão do controle de vazões de escoamento superficial, e que no futuro, deve ser alterada para a qualidade das águas. Esse fato pode ser, efetivamente, verificado em função da pouca disponibilidade de informações de monitoramento de águas pluviais no Brasil. Apesar do conhecimento que essas águas podem ter concentrações relevantes de alguns poluentes, os sistemas de monitoramento no Brasil não são planejados para sua observação. Sendo assim, para que a qualidade das águas de escoamento superficial em meio urbano realmente assuma um papel importante, é necessária a implantação de sistemas de monitoramento voltados para a obtenção dessas informações e a realização de estudos para verificação da viabilidade de sua modelagem em função do tipo de urbanização.

A análise realizada por outro especialista levou à sugestão de mudança no nome dos critérios, substituindo “alterações” por “impactos”. Segundo esse especialista, poderia ser mais adequado afirmar que a avaliação proposta verifica os impactos do desenvolvimento urbano na qualidade, quantidade e regime dos corpos de água.

Segundo Chocat (1997), a noção de impacto pode ser definida como o conjunto de conseqüências diretas ou indiretas dos efluentes ou lançamentos sobre o meio natural, sobre as espécies vegetais ou animais e sobre os diferentes usos da água. Sendo assim, alguns dos indicadores propostos são, efetivamente, relacionados aos impactos do desenvolvimento urbano nos corpos de água, podendo ser exemplificados aqueles referentes à verificação quanto à disponibilidade hídrica para diluição das águas de esgotamento sanitário e pluvial ( $I_{qL2}$  e  $I_{qL4}$ ). Entretanto, outros indicadores são relacionados a alterações proporcionadas pela urbanização em alguns parâmetros hidráulico-hidrológicos ou na concentração de efluentes. Esse é o caso dos indicadores  $I_{qL2}$  e  $I_{qL4}$  que avaliam a alteração na concentração de poluentes advindos, respectivamente, das águas de esgotamento sanitário e pluvial. Sendo assim, o nome dos critérios foi escolhido em função de poder considerar de forma geral as alterações proporcionadas pelos empreendimentos de urbanização nos corpos de água.

Esse mesmo especialista comentou sobre a possibilidade da criação de um indicador “*que avaliasse o regime do curso d’água no período de estiagem, que garantiria pelo menos uma taxa de recarga condizente com a situação de pré-urbanização*”.

No que se refere à manutenção de taxa de recarga condizente com a situação de pré-urbanização, é essa a idéia do indicador  $I_{qt1}$ , cujo cálculo proposto visa a comparação do volume de infiltração médio anual da área após a implantação do projeto com o mesmo volume para a área em sua situação natural. Com essa comparação é possível a determinação, pelo analista, da garantia de recarga condizente com a situação de pré-urbanização.

O indicador  $I_{qt2}$  compara as vazões mínimas escoadas nos cursos de água da área com as demandas para atendimento aos usos previstos e a vazão ecológica mínima a ser mantida a jusante. Nesse sentido, a avaliação do regime do curso de água no período de estiagem é feita por meio da determinação ao empreendedor da manutenção de vazão ecológica mínima a jusante. Acredita-se, então, que os dois aspectos comentados pelo especialista estejam contemplados nos indicadores  $I_{qt1}$  e  $I_{qt2}$ .

A análise realizada por outro especialista concluiu pela sugestão que o indicador  $I_{qt3}$ , referente à previsão de reutilização ou recuperação de águas para atendimento a demandas na área de projeto, pode não ser tão relevante quando os outros indicadores ligados aos aspectos quantitativos ( $I_{qt1}$  e  $I_{qt2}$ ) tiverem valores altos. Sendo assim, sua recomendação foi que o peso do indicador  $I_{qt3}$  fosse dinâmico em função dos resultados dos outros dois. Com efeito, caso as vazões mínimas escoadas sejam superiores às demandas necessárias da área acrescidas à



vazão ecológica e, ainda, o volume de infiltração de projeto for superior ao volume de infiltração na situação natural, pode ser constatado que o reuso ou a recuperação de águas poderá não ser tão relevante. Sendo assim, é interessante que os pesos desses indicadores sejam dinâmicos para considerar essas questões.

Quanto à ponderação de pesos entre os critérios, esse especialista relevou que aspectos quantitativos podem ter influência na qualidade das águas sendo esse um dos pontos levados em consideração para sua atribuição de pesos.

Outro especialista comentou que, mesmo havendo possível relação de  $I_{qt3}$  com os outros indicadores relacionados aos aspectos quantitativos, é importante sua consideração devido ao fato de poder ser verificado como uma opção ao empreendedor para minimização dos impactos causados pela urbanização.

Seguindo a análise dos questionários, outro especialista observou a possibilidade de que as respostas sejam influenciadas pelo perfil profissional e pela região de atuação dos profissionais.

Realmente, é possível que esses aspectos alterem os interesses dos técnicos e, conseqüentemente, a sua atribuição de importância entre os critérios e indicadores. No que se refere aos pesquisadores, todos os que responderam os questionários têm suas pesquisas realizadas no mesmo domínio, de gestão de águas em meio urbano, mas seus estudos são realizados em regiões diferentes o que pode ter influenciado os valores atribuídos. No entanto, para verificar essa possibilidade, haveria necessidade de um maior número de questionários respondidos de cada região.

Quanto aos gestores, os questionários apresentaram diferenças entre aqueles advindos das regiões Nordeste e Sudeste do País, que tiveram maior número de respostas o que pode indicar interesses diversos. Para a efetiva constatação desses interesses, deveria ser necessário um maior número de questionários. No entanto, as respostas recebidas foram relevantes para a conclusão que a aplicação real dos indicadores propostos deve ser precedida de atribuição de pesos específica para a região ou bacia hidrográfica de referência.

Outro aspecto comentado por esse especialista foi relacionado à impermeabilização, questionando sobre a possibilidade de criação de um indicador específico. No entanto, uma vez que o indicador  $I_{qt1}$  relaciona os volumes de infiltração médios anuais antes e após a

implantação do empreendimento, ele trata da impermeabilização, indicando ao empreendedor a necessidade de que o volume infiltrado seja o maior possível. Sendo assim, a criação de outro indicador específico sobre a impermeabilização acarretaria a redundância na consideração desse aspecto.

Tratando da análise de outro especialista, foi ressaltada a prática da impermeabilização dos lotes além do permitido na legislação, conseqüentemente ampliando o volume escoado para a drenagem das vias públicas. Com isso, sugeriu verificar a possibilidade de um indicador relacionando a contribuição dos lotes individuais. No entanto, os indicadores propostos objetivam a análise global do desenvolvimento urbano e seus impactos nos corpos de água. Sendo assim, a consideração de contribuição individual de lotes não ocorre na escala da análise proposta. Além disso, a prática da impermeabilização de lotes em percentuais superiores ao permitido em legislação deve ser coibida com fiscalização realizada pelos órgãos municipais responsáveis.

Foi ressaltada por esse especialista, ainda, a importância que, na estimativa da qualidade das águas pluviais, seja considerada a possível contribuição de ligações clandestinas de esgotos, o que é corrente no Brasil e que pode ser crítico, principalmente, no período inicial das chuvas. Esse aspecto é importante e deve ser considerado para a estimativa da concentração de poluentes nas águas pluviais.

A análise encaminhada por outro especialista ressaltou a importância da diferenciação, nos cálculos dos indicadores, das estações climáticas diversas existentes no Brasil, considerando vazões de cheia para análise de aspectos relacionados à macrodrenagem e vazões no período de estiagem para verificação da disponibilidade hídrica. Com isso, esse especialista propôs a divisão da análise dos empreendimentos de desenvolvimento urbano em macrodrenagem e alterações na qualidade/quantidade das águas, de forma a possibilitar a verificação de possíveis problemas entre esses aspectos.

A metodologia proposta no presente estudo faz uma análise global do projeto com base na aplicação de métodos multicritério e, ao mesmo tempo, verifica possíveis problemas em cada indicador, de forma a poder determinar com maior detalhe o aspecto que deve ser necessária alteração no projeto. Nesse sentido, acredita-se ser a verificação de problemas para cada indicador de forma individual mais abrangente que a análise em apenas dois aspectos, conforme sugerido por esse especialista.

Quanto à possível criação de novos indicadores, esse especialista sugeriu a verificação do uso e ocupação do solo, por ser um dos principais fatores modificadores dos hidrogramas de cheias. Uma vez que a presente pesquisa objetiva verificar os impactos do desenvolvimento urbano nos corpos de água, os indicadores propostos foram diretamente ligados a seus efeitos nos corpos de água. Nesse caso, o uso e ocupação do solo é verificado por meio de indicadores como o  $I_{qt1}$  e  $I_{r1}$ , que avaliam, respectivamente, o volume de infiltração e a vazão de pico escoada a jusante em relação à situação natural.

Outro aspecto sugerido por esse especialista foi a verificação da previsão de implantação de sistemas de reservatórios para a retenção de vazões de cheias, tanto em áreas públicas quanto em áreas particulares. Da mesma forma como comentado no parágrafo anterior, trata-se de um fator interveniente ao cálculo de indicadores propostos, notadamente o  $I_{qt3}$  e o  $I_{r2}$ , que verificam, respectivamente, volumes de águas pluviais reservados para possível recuperação e as vazões de pico a jusante frente àquelas que provocariam inundações.

Por fim, esse especialista sugeriu verificar a possibilidade de adotar o conceito de impacto “zero”, significando que, *“o empreendimento, para ter autorizada sua implantação, deveria comprovar que não agravará ou trará impactos negativos com relação à situação natural ou à situação atual ou a uma situação desejável”*. Nesse caso, conforme proposto pelo especialista, *“o empreendimento não pode tirar nota inferior à máxima em determinados indicadores”*. Entendendo que pode não haver como implantar um empreendimento sem impacto, a idéia da metodologia proposta é definir uma área como aceitável ou não no que se refere às suas interferências nos recursos hídricos. Para isso, foi proposto o estabelecimento de limites mínimos, como critérios de veto para cada indicador, em que as alternativas de projeto não deveriam ter valor inferior para poder ser aprovadas. Apesar de não considerar como impacto “zero”, uma vez que todo empreendimento deve causar por si só determinado impacto, entende-se que essa idéia está de acordo com a proposta do especialista.

Seguindo a análise dos comentários recebidos, foi ressaltada por outro especialista, a importância da consideração dos aspectos de saúde pública incluídos nos indicadores referentes à qualidade dos efluentes, principalmente aqueles domésticos. Esses aspectos devem ser considerados quando da verificação do padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário e das vazões de diluição disponíveis nos corpos de água. No caso das águas pluviais, esse especialista também comentou sobre o desconhecimento de informações acerca da qualidade desses lançamentos.

Quanto aos indicadores referentes aos aspectos quantitativos, esse especialista comentou ter achado pertinentes por abrangerem três questões que influenciam os aspectos urbanísticos: disponibilidade hídrica, recarga de aquíferos e reutilização de águas buscando minimização de demandas.

Outro especialista manifestou sobre a necessidade de melhoria dos sistemas de monitoramento de vazões para a implementação dos indicadores, principalmente no que se refere aos indicadores para alterações no regime dos corpos de água.

Tratando dos indicadores de qualidade das águas, esse especialista comentou entender ser mais importante verificar diretamente a concentração no corpo receptor ao invés da forma indireta por meio da concentração do efluente. Nesse caso, pôde ser percebida sua preferência aos indicadores para verificação das vazões de diluição em relação àqueles concernentes à concentração dos efluentes. Além disso, esse especialista observou a importância de se considerar a “*capacidade de auto-regeneração dos corpos receptores*”. Sua afirmação quanto a esse último aspecto é de consideração relevante, principalmente nos casos em que o efluente lançado levar o corpo de água receptor a qualidade inferior àquela permitida para sua classe de enquadramento.

Sobre a análise global do empreendimento, esse especialista sugeriu verificar a possibilidade de incluir aspectos sócio-econômicos na análise. Apesar de ser relevante a consideração desses aspectos na análise global, a metodologia proposta no presente estudo trata das interferências nos corpos de água. Com efeito, os aspectos sócio-econômicos são, normalmente, analisados quando da verificação dos impactos ambientais do empreendimento. Além disso, apesar da análise global do empreendimento poder considerar aspectos técnicos, sociais ambientais, entre outros, é importante a distinção entre as análises quanto às alterações nos corpos de água, que devem caber ao órgão gestor de recursos hídricos e que são focadas no presente estudo, e aquelas relacionadas aos aspectos sociais e econômicos, verificadas por meio da análise dos impactos ambientais do empreendimento.

Por fim, esse especialista comentou sobre a possibilidade de introdução de um indicador relacionado aos serviços de limpeza pública de resíduos domiciliares (coleta, disposição final e reciclagem) e grau de conscientização ambiental da população. Essas questões interferem no desenvolvimento urbano em dois aspectos. O primeiro, ao tratar de fatores intervenientes à qualidade das águas de escoamento pluvial. Nesse caso, sua consideração poderia causar duplicidade de aspectos verificados ao relacionar com os indicadores  $I_{qL3}$  e  $I_{qL4}$ , que devem

verificar a concentração de poluentes nessas águas e seus impactos nos corpos de água receptores. O segundo se refere à avaliação dos impactos ambientais que, apesar da sua relevância, não está prevista verificação no âmbito do presente estudo.

Outro especialista que encaminhou sua análise comentou entender, no caso do indicador  $I_{qt1}$  que avalia o volume de infiltração de projeto em relação à situação natural, que a proteção do aquífero seria medida mais adequada que o estímulo à infiltração. Esse especialista justificou sua baixa importância dada a esse indicador afirmando que, como a bacia urbanizada já tem a característica de produzir menor taxa de escoamento de base, entendeu ser mais relevante a utilização dessas águas que a sua infiltração. Esses aspectos podem ser considerados quando da determinação dos pesos dos indicadores na análise global, priorizando aspectos verificados mais relevantes para cada área.

No caso do indicador  $I_{qt2}$ , o especialista pontuou considerar de maior importância as descargas destinadas à manutenção dos ecossistemas que aquelas destinadas a usos consuntivos. Apesar desse especialista não ter recebido a formulação para o cálculo do indicador, sua avaliação está de acordo com as expressões propostas em que o escoamento de vazão inferior à remanescente mínima leva ao seu valor nulo.

Quanto ao  $I_{qt3}$ , esse especialista atribuiu a maior importância dentre os indicadores referentes à verificação das alterações na quantidade das águas justificando que, atualmente, esse aspecto pode adquirir relevo em projetos de drenagem. Segundo sua análise, a reutilização ou recuperação de águas pode, simultaneamente, reduzir as descargas que possivelmente representariam ameaças de inundação além das demandas sobre corpos hídricos que abastecem áreas urbanas e, em muitas situações, exigem adutoras de longos comprimentos.

O indicador  $I_{r2}$ , que verifica a vazão de pico de projeto em relação àquela que poderia causar inundação a jusante, foi considerado o mais importante por esse especialista, justificando que: *“mais do que a manutenção da descarga próxima ao natural na área em urbanização, cabe ao projeto de drenagem, considerado no sentido restrito de evitar inundações, ou em sentido amplo, ao oferecer alternativas de uso às águas de chuva, possibilitar o desenvolvimento de áreas a jusante em condições de segurança”*.

Tratando do indicador  $I_{r3}$ , em que é prevista a verificação do período de retorno desejável para inundações dentro da área de projeto, esse especialista sugeriu que, caso haja disciplina legal sobre esse aspecto, o indicador poderia perder importância. Com efeito, o objetivo desse

indicador é exatamente que seja seguida uma disciplina legal referente ao período de retorno de proteção da área de projeto quanto às inundações e que esse período de retorno seja verificado pelo órgão gestor de recursos hídricos quando da análise do empreendimento. Sendo assim, mesmo havendo a disciplina legal, é relevante a verificação do empreendimento quanto ao atendimento a essa regra.

Por fim, esse especialista comentou considerar importantes os indicadores referentes aos aspectos qualitativos das águas ressaltando, no que se refere às águas pluviais, a desconsideração desse aspecto pelos projetistas, em função da inexistência de orientação normativa.

Vale ressaltar um aspecto dos comentários dos especialistas que, apesar de terem feito sugestões quanto à criação de novos indicadores ou alteração dos atuais, nenhum deles se posicionou contra a metodologia proposta ou a sua aplicação em procedimentos de outorga de direito de uso de recursos hídricos de empreendimentos de desenvolvimento urbano. Além disso, nenhum aspecto ou novo indicador foi sugerido por mais de um especialista consultado.

## **7.4- Estudo de Caso do Condomínio Vale dos Cristais**

### **7.4.1- Introdução**

O loteamento “Vale dos Cristais” tem sua localização prevista na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH, no município de Nova Lima, ocupando uma área total de 587ha. Conforme Baptista *et al.* (2005b), trata-se de uma região montanhosa, apresentando declividades acentuadas, com predominância de solos argilosos, recobertos por vegetação remanescente de mata atlântica.

A área referente ao loteamento é drenada pelo ribeirão dos Cristais, pelo córrego da Mutuca e outros de seus afluentes, apresentando problemas de inundações frequentes na sede da cidade de Nova Lima a jusante. Sendo assim, o projeto de urbanização e do sistema de drenagem para essa área tinha restrições relevantes quanto à ampliação das vazões de pico.

Uma vez que a área não está urbanizada, tratando-se de um projeto futuro, foi possível prever, em seus estudos, diversas estruturas alternativas ou compensatórias de drenagem, com funcionamento escalonado, controlando diferentes bacias de contribuição de forma a neutralizar os impactos decorrentes do processo de urbanização.

Com essa filosofia, o projeto desenvolvido por CONSOL (2004) previu medidas de controle de escoamento nas parcelas, em conjuntos delas e no sistema viário.

Em nível de parcela, o projeto previu a implantação de reservatórios de retenção na saída dos lotes, limitando as vazões escoadas a jusante. Para os conjuntos de parcelas, foram previstas as seguintes técnicas de drenagem:

- Um cordão de trincheiras e valetas de retenção e infiltração;
- Estruturas de retenção temporária e infiltração junto aos pontos de deságüe das galerias de microdrenagem;
- Faixas verdes circundando o sistema de macrodrenagem.

Outra técnica de drenagem prevista foi uma bacia de retenção em um dos afluentes do córrego da Mutuca, drenando uma área de cerca de 110 ha. Além de suas funções técnicas, essa bacia contribuiu também com o aspecto paisagístico da região já que possui um espelho d'água permanente.

Essas técnicas objetivam o rearranjo temporal de vazões e a redução de vazões e volumes escoados, em função dos processos de infiltração.

Esse projeto foi escolhido como estudo de caso por se tratar de uma área ainda não urbanizada, com previsão de utilização de técnicas diversas de drenagem urbana, variando desde o sistema clássico ou convencional até as técnicas alternativas ou compensatórias.

#### **7.4.2 Cálculo dos indicadores**

O cálculo dos indicadores levou em consideração as informações constantes no projeto do empreendimento, conforme CONSOL (2004) e Baptista *et al.* (2005b), para a obtenção dos parâmetros necessários.

##### 7.4.2.1- Indicadores referentes às alterações de quantidade nos corpos de água

###### Indicador $I_{qt1}$

O indicador  $I_{qt1}$  objetiva comparar o volume de infiltração médio anual da área de projeto após a urbanização com aquele ocorrido na área em sua situação natural ou atual. Para o presente estudo de caso, o projeto foi desenvolvido em área ainda natural, devendo, portanto, o volume de infiltração natural ser comparado com o de infiltração médio de projeto.

Com base nas informações constantes no projeto em simulação hidrológica de balanço hídrico da área, foi possível verificar, com a precipitação média anual de 1.577mm, que a infiltração média anual corresponde a cerca de 15,3% desse valor. Uma vez que a área total do projeto é de 587ha, o cálculo do volume médio de infiltração na situação natural ( $V_{inf\_nat}$ ) pode ser estimado como:

$$V_{inf\_nat} = 0,153 \cdot \frac{1.577}{1000} \cdot (587 \cdot 10.000) = 1.420.000 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

O volume de infiltração médio anual após a implantação da alternativa de projeto ( $V_{inf\_med}$ ) foi estimado segundo informações de projeto acerca dos sistemas de infiltração previstos tais como as trincheiras e valetas, além das faixas verdes circundando o sistema de drenagem. Foram, ainda, verificados os efeitos proporcionados pela mudança da cobertura vegetal da região para a implantação da área urbanizada, o que reduzirá a evapotranspiração prevista na área de projeto. Com base nesses fatores, foi estimado que o volume de infiltração médio anual deve ser aumentado em cerca de 10% em relação ao natural, ou seja:

$$V_{inf\_med} = 1,10 \cdot 1.420.000 = 1.560.000 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Uma vez que o volume de infiltração médio anual após a implantação da alternativa de projeto será superior ao mesmo volume na situação natural, há a necessidade da verificação da vulnerabilidade do aquífero à infiltração dessas águas. Nos sistemas de infiltração, os solos funcionam também como sistema de filtração de águas, proporcionando melhoria na qualidade daquelas que atingem o aquífero. No entanto, não foram encontradas informações suficientes de qualidade das águas pluviais no Brasil para poder simular esse efeito, principalmente no que se refere à profundidade máxima atingida pelos poluentes. Pelos estudos de infiltração apresentados na revisão bibliográfica desta pesquisa, lençóis situados a profundidades superiores a 1,0m não são atingidos pela poluição advinda das águas pluviais. No caso presente, o nível mais alto do lençol subterrâneo na região tem profundidade superior a esse valor e, sendo assim, pôde ser assumida vulnerabilidade baixa do aquífero à poluição das águas pluviais. Com essa premissa e a formulação proposta para o indicador, o valor obtido foi:

$$I_{qt1} = 1,0.$$



### Indicador $I_{qt2}$

Para o cálculo desse indicador devem ser levadas em consideração as vazões mínimas escoadas, as demandas para usos consuntivos da própria área ou a jusante e as vazões ecológicas a serem mantidas nos cursos de água. Uma vez que o projeto em análise está localizado no Estado de Minas Gerais e suas interferências ocorrem apenas em corpos de água estaduais, a legislação a ser seguida é aquela do órgão responsável pelas outorgas no Estado, que é o IGAM/MG. Conforme Portaria Administrativa IGAM nº010/98, a vazão residual mínima a jusante de cada derivação deve ser correspondente a 70% da vazão  $Q_{7,10}$  (vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de recorrência).

O ponto mais a jusante da área de projeto é localizado no ribeirão dos Cristais, em ponto com área de drenagem de cerca de 40km<sup>2</sup> e rendimento específico médio referente à vazão  $Q_{7,10}$  correspondente a 5,5 L/s.km<sup>2</sup>. Com isso, a vazão  $Q_{7,10}$  nesse ponto equivale a 220 L/s.

Para cálculo do indicador, a vazão  $Q_{\min}$ , correspondente à mínima estimada nos cursos de água superficiais na saída da área de projeto, deve ser aquela de referência utilizada pelo órgão gestor de recursos hídricos, no caso a  $Q_{7,10}$ . Nessa situação, tem-se:

$$Q_{\min} = 220 \text{ L/s} = 0,220 \text{ m}^3/\text{s}.$$

O parâmetro  $Q_{\text{rem}_{\min}}$ , referente à vazão mínima remanescente a jusante, deve ser aquele definido na legislação de recursos hídricos. No caso do IGAM, foi apresentado anteriormente que essa vazão corresponde a 70% da vazão mínima  $Q_{7,10}$ . Nesse sentido, pode ser determinado que:

$$Q_{\text{rem}_{\min}} = 0,70 \times 0,220 = 0,154 \text{ m}^3/\text{s}.$$

O último parâmetro necessário para o cálculo do indicador é referente às demandas previstas na área para usos consuntivos com captação de águas superficiais. Conforme informações constantes em seu projeto, as demandas previstas para usos consuntivos na área são aquelas apresentadas na Tabela 7.11.

**Tabela 7.11** – Demandas previstas na área de projeto (CONSOL, 2004)

Área Atendida	População	Q máx média diária	Porcentagem da vazão total
	(hab)	(l/s)	%
Unifamiliar	2.252	12,51	43%
Quadras 5 a 8 (multifamiliar)	1.344	4,48	15%
Quadra 3 (multif.), comércio, escola	648	1,65	6%
Centro Empresarial	4.000	3,11	11%
Quadras 54 a 60 (Multifamiliares)	2.240	7,25	25%
<b>Total</b>	<b>10.484</b>	<b>29,00</b>	<b>100</b>

Sendo assim, a vazão máxima de captação prevista na área de projeto, correspondente à  $Q_{dem}$ , é igual a 29,00 L/s (0,029 m<sup>3</sup>/s). Nos cursos de água constantes na área de projeto não foram verificados outros usuários existentes ou previstos a montante do ponto determinado no ribeirão dos Cristais.

Com base nas informações acima, o indicador  $I_{qt2}$  pode ser calculado:

$$Q_{dem} + Q_{rem\_min} = 0,029 \text{ m}^3/\text{s} + 0,154 \text{ m}^3/\text{s} = 0,183 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Esta vazão é inferior à  $Q_{min}$  (0,220 m<sup>3</sup>/s) calculada anteriormente e, sendo assim, o valor do indicador corresponde a:

$$I_{qt2} = 1,0.$$

O valor calculado para esse indicador demonstra que os cursos de água superficiais na área de projeto são suficientes para abastecer às suas necessidades hídricas de usos consuntivos, mantendo-se vazões mínimas escoadas a jusante superiores àquela remanescente definida em legislação.

#### Indicador $I_{qt3}$

Este indicador tem a finalidade de avaliar o percentual de reutilização ou recuperação de águas frente às demandas da área de projeto. Conforme apresentado quando da proposição do indicador, a recuperação de águas pluviais trata do uso dessas águas em nível de parcela em áreas residenciais, por órgãos governamentais ou indústrias, sem tratamento para usos menos nobres ou com tratamento para outros fins. O reúso de águas tratadas de esgotamento sanitário pode ser realizado pelas prefeituras para limpeza de praças e áreas públicas ou por indústrias em seus processos ou para limpeza de pátios.

Após análise das informações de projeto, verificou-se que não foi prevista, de forma expressa, a recuperação de águas para uso dentro da área de projeto ou mesmo o reuso de águas tratadas. Sendo assim, no que se refere ao cálculo do indicador, o valor do parâmetro  $V_{re}$ , que trata do volume médio anual previsto de recuperação ou de reutilização de águas na área em projeto, pode ser considerado como nulo. Com esse valor, o indicador em análise assume o seu valor mínimo, ou seja:

$$I_{qt3} = 0,50.$$

Sendo assim, este indicador teve seu cálculo prejudicado em função do projeto não ter previsto recuperação ou reutilização de águas. De qualquer forma, tratando-se do projeto de um condomínio de áreas residenciais e comerciais, é possível que, mesmo não tendo previsão durante a sua construção, alguns usuários apliquem sistemas de reutilização ou recuperação de águas em seus projetos individuais. Em casos como esse, o resultado do indicador poderá ser inferior à situação real após a implantação completa do projeto.

#### 7.4.2.2- Indicadores referentes às alterações de regime dos corpos de água

##### Indicador $I_{r1}$

Para o cálculo desse indicador, os parâmetros necessários são: vazão  $Q_{pico\_alt}$  (Vazão de pico para o período de retorno de projeto em  $m^3/s$ ); vazão  $Q_{pico\_nat}$  (Vazão de pico para o período de retorno de projeto, estando a bacia em sua situação natural em  $m^3/s$ ); e o  $K_{aum\_pico}$  (Coeficiente máximo de aumento autorizado de vazão de pico, adimensional). Conforme determinado na proposição inicial deste indicador, este último coeficiente deve ser atribuído no momento de aprovação do Plano de Bacia pelo respectivo comitê ou, na sua ausência, pelo órgão gestor de recursos hídricos responsável pelas outorgas. A sua aplicação é necessária apenas nos casos em que a vazão  $Q_{pico\_alt}$  for superior à  $Q_{pico\_nat}$ .

Os parâmetros  $Q_{pico\_alt}$  e  $Q_{pico\_nat}$  foram obtidos do projeto de drenagem para a área em questão e correspondem, respectivamente, a 52,05  $m^3/s$  e 54,04  $m^3/s$  para o período de retorno de 10 anos. Com base nesses valores, o indicador  $I_{r1}$  deve ser calculado da seguinte forma:

Como  $Q_{pico\_alt} < Q_{pico\_nat}$ , tem-se:

$$I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_nat} - Q_{pico\_alt}}{2 \cdot Q_{pico\_nat}} = 1 - \frac{54,04 - 52,05}{2 \cdot 54,04}$$

$$I_{r1} = 0,98$$

Esse valor foi obtido em função da vazão de cheia da alternativa de projeto ser próxima da vazão de cheia na situação natural, aspecto considerado relevante quando da proposição do indicador. Nesse sentido, a implantação da alternativa em projeto não causaria grandes perturbações nas vazões de cheia máximas efluentes da área.

#### Indicador $I_{r2}$

Este indicador tem a finalidade de verificar a vazão de pico prevista na alternativa de projeto em relação àquela que causaria inundação em área a jusante. Sendo assim, para seu cálculo, há a necessidade da obtenção de dois parâmetros:  $Q_{pico\_alt}$  e  $Q_{inund}$ .

A  $Q_{pico\_alt}$  trata da vazão de pico a jusante da área, estimada para o período de retorno de projeto, que corresponde a 52,05m<sup>3</sup>/s, conforme já apresentado nos cálculos referentes ao indicador  $I_{r1}$ .

No que se refere à  $Q_{inund}$ , trata da vazão que poderia causar inundações a jusante da área de projeto. Nesse sentido, para esse estudo de caso, foram verificadas possíveis áreas a jusante com risco de inundação, sendo observado que parte da sede da cidade de Nova Lima já é sujeita a inundações frequentes. Isso ocorre em função da presença de diversas residências construídas de forma irregular na planície de inundação do ribeirão dos Cristais, tornando-se vulneráveis a inundações, mesmo estando a área de projeto em sua situação natural.

Nesse caso, a análise técnica realizada teve que definir um critério, dentre dois possíveis para a implantação na área de projeto:

- a) Critério 1: não incremento de vazão de inundação; ou
- b) Critério 2: redução de inundações existentes.

Tratando-se de inundações atualmente ocorridas em áreas de construção irregular na planície do ribeirão dos Cristais, na área central da cidade de Nova Lima, entendeu-se que o projeto de desenvolvimento urbano a ser implantado deve ser responsável somente pelo não incremento de vazão de inundação. Com isso, a vazão de restrição máxima para inundações a jusante da área em questão deve ser a vazão de cheia considerada para a área de projeto em sua situação natural. Conforme constante no projeto do sistema de drenagem, a vazão de cheia para a situação natural corresponde a 54,04m<sup>3</sup>/s e será, então, considerada como a  $Q_{inund}$ .

Para o cálculo do indicador, tem-se, então, que a vazão  $Q_{pico\_alt}$  (52,05m<sup>3</sup>/s) é inferior à vazão  $Q_{inund}$  (54,04m<sup>3</sup>/s). Esses valores levam ao seu valor máximo, ou seja:

$$I_{r2} = 1,0.$$

O cálculo deste indicador foi viável uma vez que os parâmetros necessários são de obtenção possível na fase de projeto e têm cálculo objetivo. No entanto, foram observados dois aspectos de subjetividade para definição do analista.

O primeiro aspecto tratou da área de influência a ser considerada para a definição da possibilidade de inundação a jusante. É importante que seja definido, a priori, o critério acerca da distância ou da ordem dos corpos de água a serem considerados para a definição da vazão de inundação de determinada área a jusante e o possível amortecimento da cheia causada pela área de projeto.

Nos cálculos realizados foi verificado que a vazão de cheia da área em sua situação natural já seria suficiente para causar inundações na sede do município de Nova Lima, localizada a jusante da área. Esse fato gerou o outro aspecto de subjetividade na análise, uma vez que coube ao analista a decisão quanto à necessidade do projeto reduzir a vazão de cheia a valor inferior em relação à área na situação natural, mesmo não sendo o responsável pela ocupação irregular nas planícies de inundação do curso de água principal a jusante.

A premissa adotada no estudo de caso levou à dupla consideração dos mesmos parâmetros nos indicadores  $I_{r1}$  e  $I_{r2}$  e à conseqüente redundância na análise dos mesmos parâmetros. Sendo assim, pode ser observado que a definição quanto a esse aspecto deve ser atribuída como critério em função de cada situação e área de projeto, de forma a reduzir o caráter de subjetividade do indicador. Além disso, pode-se pensar na possibilidade de junção desses indicadores objetivando evitar a redundância na consideração de aspectos, analisando, ao mesmo tempo, a alteração das vazões de pico em relação à situação natural e a possibilidade de inundação de áreas a jusante.

### Indicador $I_{r3}$

O terceiro indicador previsto para a análise quanto às alterações de regime proporcionadas pelo desenvolvimento urbano proposto relaciona o período de retorno para o qual as estruturas hidráulicas estão dimensionadas dentro da área de projeto e o período de retorno desejável. Segundo informações de projeto, as estruturas de microdrenagem do sistema foram

dimensionadas para proteção das áreas para períodos de retorno de 10 anos. No caso das estruturas de macrodrenagem, foram calculadas para controle de vazões afluentes com período de retorno de 25 anos e as estruturas extravasoras da bacia de detenção foram dimensionadas para período de retorno de 100 anos, por motivo de segurança operacional.

Para definição do período de retorno desejável, deve ser verificado aquele constante em legislação ou Plano Diretor para a região em questão. Na pesquisa bibliográfica realizada, foi verificado não haver, ainda, Plano Diretor de Drenagem Urbana – PDDU – para o município de Nova Lima. Da mesma forma, não foram encontradas referências no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH Rio das Velhas, 2004) sobre os aspectos referentes a drenagem urbana. Entretanto, no PDDU de Belo Horizonte (2003) foram apresentados os seguintes períodos de retorno utilizados para os seus cálculos, no caso de obras de microdrenagem:

- 10 anos para redes e galerias;
- 5 anos para dispositivos de drenagem superficial.

No caso de obras de macrodrenagem (zoneamento das planícies de inundação, canais, galerias e bacias de detenção), o mesmo Plano Diretor apresenta os seguintes períodos de retorno utilizados em seus cálculos:

- 100 anos para os ribeirões da Onça e Arrudas;
- 50 anos para os afluentes diretos a estes cursos de água;
- 25 anos para os demais córregos.

Sendo assim, tratando-se de uma cidade pertencente à RMBH, sem PDDU e sem informações no respectivo Plano de Bacia, serão utilizados como períodos de retornos desejáveis para o cálculo do presente indicador aqueles constantes no PDDU de Belo Horizonte. Nesse sentido, o cálculo do presente indicador foi separado para o dimensionamento de obras de microdrenagem e macrodrenagem.

No caso das obras de microdrenagem, o período de retorno de dimensionamento das estruturas do projeto foi de 10 anos e, portanto, igual ou superior àquele desejável. Com isso:

$$I_{r3\_microdrenagem} = 1,0.$$

No caso das obras de macrodrenagem, o período de retorno desejável para o projeto foi considerado de 50 anos, em função de tratar de município na RMBH com urbanização similar às áreas de Belo Horizonte referentes aos afluentes diretos dos ribeirões da Onça e Arrudas. O

período de retorno de dimensionamento das estruturas da bacia de detenção foi de 100 anos. Nesse sentido, sendo superior àquele considerado desejável, tem-se que:

$$I_{r3\_macro drenagem} = 1,0.$$

Com os dois resultados acima, pode ser determinado o valor do indicador, sendo:

$$I_{r3} = 1,0.$$

Os parâmetros necessários ao cálculo deste indicador tiveram sua definição possível, em função da área de projeto localizar-se próximo do município de Belo Horizonte, que possui PDDU já desenvolvido. Quanto à expressão de cálculo, foi verificada como pertinente uma vez que relaciona, de forma direta, o período de retorno desejável ao aplicado nos estudos.

#### 7.4.2.3- Indicadores referentes às alterações na qualidade dos corpos de água

##### Indicador $I_{qL1}$

O indicador  $I_{qL1}$  trata da verificação da alternativa de projeto quanto ao padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário, sendo necessários os seguintes fatores:  $C_{DBO\_nat}$ ,  $C_{DBO}$  e  $C_{perm\_DBO}$ .

A  $C_{DBO\_nat}$  trata da Demanda Bioquímica de Oxigênio do curso de água em sua situação natural e pode ser obtida em von Sperling (1996), correspondendo a 1,0 mg/L para os cursos de água na região em análise.

Quanto à Demanda Bioquímica de Oxigênio permitida para lançamento das águas de esgotamento sanitário, conforme legislação pertinente,  $C_{perm\_DBO}$ , não há padrão máximo na Resolução CONAMA nº 357/2005, que corresponde à legislação federal correlata. No entanto, no Estado de Minas Gerais, segundo a Deliberação Normativa COPAM/MG nº 010/86, a concentração máxima permitida nos lançamentos de efluentes corresponde a 60mg/L.

Para o cálculo da Demanda Bioquímica de Oxigênio média do lançamento previsto,  $C_{DBO}$ , foram verificados os sistemas de tratamento projetados e a eficiência estimada. Segundo informações constantes no projeto realizado para a área, os efluentes das residências unifamiliares terão previsão de fossa séptica e filtro anaeróbio, com estimativa de eficiência em torno de 75% de remoção de DBO. No caso dos efluentes advindos das áreas

multifamiliares e do centro empresarial, será previsto tratamento preliminar (gradeamento e desarenação), biodigestor anaeróbio e biofiltro aerado submerso, com estimativa de remoção de DBO variando de 85% a 95%.

A concentração de DBO média no efluente bruto de efluentes domésticos pode ser considerada como 300 mg/L, conforme von Sperling (1996). Sendo assim, com os tratamentos previstos, pode-se estimar a concentração média de DBO nos efluentes das áreas unifamiliares como sendo cerca de 75mg/L. No caso das áreas multifamiliares e do centro empresarial, considerando remoção média de 90%, a concentração de DBO no efluente a ser lançado corresponde a 30mg/L.

Com base nas informações constantes na Tabela 7.11, pode ser verificado que as vazões das áreas unifamiliares equivalem a 43% do total e, por essa proporção pode ser estimada a concentração de DBO média nos lançamentos realizados correspondendo a 49,4 mg/L.

Os lançamentos de efluentes domésticos previstos ocorrerão nos córregos Mutuca e Moinho e no ribeirão dos Cristais. No entanto, como os dois primeiros são afluentes deste último e os lançamentos serão realizados pouco a montante da sua confluência, podem ser considerados como apenas um lançamento para cálculo do indicador.

Em síntese, os parâmetros estimados para o cálculo do indicador foram:

$$C_{DBO\_nat} = 1,0 \text{ mg/L.}$$

$$C_{DBO} = 49,4 \text{ mg/L.}$$

$$C_{perm\_DBO} = 60,0 \text{ mg/L.}$$

Com base nesses valores o indicador pode ser calculado como:

$$I_{qL1} = 0,5 - \frac{(C_{DBO} - C_{perm\_DBO})}{2 \cdot C_{perm\_DBO}} = 0,5 - \frac{(49,4 - 60,0)}{2 \cdot 60,0}$$

$$I_{qL1} = 0,59$$

Este indicador se mostrou relevante para a verificação do critério de concentração máxima de poluentes permitida para lançamento nos corpos de água, no caso da DBO. Os parâmetros necessários ao seu cálculo tiveram atribuição possível em função do tipo de tratamento



previsto para as águas advindas do sistema de esgotamento sanitário e da existência do limite máximo definido como critério na legislação ambiental.

### Indicador $I_{qL2}$

Para o cálculo desse indicador, são necessários os seguintes parâmetros:  $Q_{dil\_DBO}$  e  $Q_{rem\_min}$ . Primeiramente, deve ser calculada a vazão de diluição necessária do curso de água para mantê-lo em sua classe de enquadramento,  $Q_{dil\_DBO}$ , por meio de:

$$Q_{dil} = Q_{efl} \cdot \frac{(C_{efl} - C_{perm\_man})}{(C_{perm\_man} - C_{man\_nat})}$$

Em que:

$$Q_{efl} = 80\% \text{ da vazão captada} = 0,80 \times 0,029 \text{ m}^3/\text{s} = 0,023 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$C_{efl} = 49,4 \text{ mg/L (valor já calculado para o indicador } I_{qL1}\text{)}.$$

$C_{man\_nat} = 1,0 \text{ mg/L}$ . Esse valor corresponde à concentração de DBO no manancial em sua situação natural e já foi apresentado quando tratado o indicador  $I_{qL1}$ .

$C_{perm\_man}$  é um fator dependente da classe de enquadramento do curso de água. No caso do ribeirão dos Cristais, por se tratar de um corpo de água ainda não enquadrado, a Resolução CONAMA nº 357/2005 e a Deliberação Normativa COPAM/MG nº 010/86 dispõem que deve ser considerado como classe 2, devendo a  $C_{perm\_man}$  para o parâmetro DBO ser igual a 5,0 mg/L.

Sendo assim, tem-se:

$$Q_{dil} = 0,023 \frac{(49,4 - 5,0)}{(5,0 - 1,0)} = 0,257 \text{ m}^3/\text{s}.$$

A vazão  $Q_{rem\_min}$  a ser utilizada no cálculo desse indicador corresponde à vazão de referência utilizada pela autoridade outorgante subtraindo-se os usos previstos na área e a montante. Para o presente estudo, no caso de cursos de água de domínio do Estado de Minas Gerais, a vazão de referência considerada é a  $Q_{7,10}$ :

$$Q_{rem\_min} = Q_{7,10} - Q_{dem} = 0,220 \text{ m}^3/\text{s} - 0,029 \text{ m}^3/\text{s} = 0,191 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Uma vez que a vazão  $Q_{dil}$  é superior à  $Q_{rem\_min}$ , pode ser verificado que, com os lançamentos de efluentes previstos, não poderá ser mantida a classe de enquadramento dos cursos de água receptores. Para o cálculo do indicador, deve ser, então, definido o limite de precisão dos

parâmetros calculados. Nesse caso, em função dos parâmetros de concentração de poluentes nas águas tratadas do esgotamento sanitário, este limite foi estimado em 10%. Com esse valor, a vazão de diluição mínima a ser comparada com a vazão mínima remanescente é igual a 90% daquela  $Q_{dil}$  calculada anteriormente, correspondendo a  $0,232\text{m}^3/\text{s}$ .

No entanto, mesmo considerando esse limite devido à imprecisão dos parâmetros de cálculo, a vazão remanescente do ribeirão dos Cristais é inferior à vazão de diluição necessária para manter o curso de água em sua classe de enquadramento e, sendo assim:

$$I_{qL2} = 0.$$

O resultado da aplicação desse indicador foi que, com o lançamento previsto, não haveria disponibilidade hídrica suficiente para manter o curso de água na qualidade correspondente à classe 2 no período mais seco do ano. Esse fato deverá ocorrer em situações como a do projeto em análise, em função de tratar-se de região de cabeceira de córregos ou ribeirões. Nessa situação, o indicador mostrou ser eficiente como auxílio à decisão quanto à necessidade de modificações no projeto de forma a não alterar a classe de enquadramento do corpo de água receptor.

#### Indicadores $I_{qL3}$ e $I_{qL4}$

Para o cálculo dos indicadores referentes aos aspectos de qualidade das águas pluviais, há a necessidade da estimativa das concentrações de poluentes presentes nas águas pluviais, das vazões de cheias, além da vazão de referência no período chuvoso dos cursos de água receptores.

No que se refere às vazões de cheia ou de referência dos cursos de água receptores, seriam de cálculo possível por meio de estudos hidrológicos de regionalização ou transformação chuva-vazão.

No entanto, conforme apresentado na revisão bibliográfica realizada para a presente pesquisa, há poucos estudos ou informações de monitoramento de águas pluviais no que se refere a aspectos qualitativos no Brasil. As informações existentes são isoladas e não correspondem a monitoramentos por longos períodos. Sendo assim, não foi possível fazer uma estimativa das concentrações médias de poluentes esperadas nas águas pluviais para a urbanização proposta.

Na revisão bibliográfica realizada sobre os impactos da urbanização nos corpos de água, foram apresentadas informações existentes de monitoramento em outros países como França,

Estados Unidos e Suíça. A análise dessas informações mostrou diferenças sensíveis nos resultados obtidos para cada um dos países. Além disso, dentro de cada tipologia de área com informações de monitoramento, podem ser verificadas amplitudes consideráveis nos resultados obtidos. Sendo assim, mesmo para esses países, não foi possível ainda relacionar a urbanização existente ou proposta com a qualidade das águas pluviais.

Apesar disso, pelas informações de qualidade apresentadas desses outros países, pode ser verificado que a poluição existente nas águas pluviais proporcionada pela urbanização não deve ser desconsiderada, uma vez que pode ser um dos principais efeitos poluidores dos corpos de água.

#### 7.4.2.4- Resultados gerais obtidos para os indicadores

Objetivando uma melhor compreensão e visualização dos valores obtidos no cálculo dos indicadores, foi elaborada a Tabela 7.12.

**Tabela 7.12 – Resultados dos indicadores e principais dificuldades nos cálculos**

<b>Indicador</b>	<b>Valor Calculado</b>	<b>Principais Parâmetros Utilizados</b>	<b>Dificuldades</b>
I <sub>qt1</sub>	1,00	- Precipitação média anual; - Área total de projeto; - Volume médio de infiltração na situação natural; - Volume médio de infiltração na situação projetada; - Vulnerabilidade do aquífero.	Ausência de informações precisas quanto à qualidade de águas pluviais no Brasil para simular o efeito da infiltração.
I <sub>qt2</sub>	1,00	- Vazão de referência Q <sub>7,10</sub> ; - Percentual máximo <i>outorgável</i> da Q <sub>7,10</sub> ; - Vazão mínima remanescente conforme legislação local. - Demandas previstas para usos consuntivos.	-
I <sub>qt3</sub>	0,50	- Volume médio anual de demandas na área; - Volume médio anual previsto com o uso de águas pluviais recuperadas ou reuso de efluentes tratados.	-
I <sub>r1</sub>	0,98	- Vazão de pico a jusante para o período de retorno de projeto; - Vazão de pico a jusante, estando a bacia em sua situação natural.	-
I <sub>r2</sub>	1,00	- Vazão de pico a jusante para o período de retorno de projeto; - Vazão que poderia causar inundações em área a jusante, para o mesmo período de retorno de projeto.	A jusante da área de projeto, já ocorrem inundações, em função de residências instaladas em planície de inundação. Dessa forma, houve a necessidade de se tomar uma decisão subjetiva quanto ao não incremento de vazão de inundação ou redução de inundações existentes.

**Tabela 7.12 (CONT) – Resultados dos indicadores e principais dificuldades nos cálculos**

<b>Indicador</b>	<b>Valor Calculado</b>	<b>Principais Parâmetros Utilizados</b>	<b>Dificuldades</b>
$I_{r3}$	1,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Período de retorno das estruturas hidráulicas projetadas para a área de projeto;</li> <li>- Período de retorno desejável para proteção quanto a inundações na área de projeto.</li> </ul>	Não há Plano Diretor para a região. Dessa forma, o período de retorno desejável para as estruturas hidráulicas foi obtido a partir do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Belo Horizonte.
$I_{qL1}$	0,59	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DBO do curso de água receptor, na situação natural;</li> <li>- DBO média estimada do lançamento de águas de esgotamento sanitário;</li> <li>- DBO máxima possível de ser autorizada no efluente da área de projeto.</li> </ul>	-
$I_{qL2}$	0,00	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão de diluição necessária do curso d'água para mantê-lo em sua classe de enquadramento;</li> <li>- DBO média estimada do lançamento de águas de esgotamento sanitário;</li> <li>- DBO do curso de água receptor, na situação natural;</li> <li>- DBO limite no manancial segundo sua classe de enquadramento;</li> <li>- Vazão do efluente a ser lançado;</li> <li>- Vazão mínima remanescente, conforme legislação local.</li> </ul>	A vazão remanescente do ribeirão dos Cristais é inferior à vazão de diluição necessária para mantê-lo em sua classe de enquadramento.
$I_{qL3}$	Não calculado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentrações de poluentes presentes nas águas pluviais;</li> <li>- Vazão de cheia para o período de retorno de projeto;</li> <li>- Vazão de referência no período chuvoso dos cursos de água receptores.</li> </ul>	Monitoramento de qualidade de águas pluviais insuficiente para realizar estimativa na fase de projeto.
$I_{qL4}$			

#### 7.4.3- Análise multicritério

Conforme metodologia proposta, os indicadores calculados devem ser agregados por meio de método de análise multicritério, possibilitando a análise global do projeto. O presente estudo definiu pela aplicação de dois métodos de análise multicritério: TOPSIS e Electre TRI.

A primeira verificação a ser realizada é quanto aos critérios de veto definidos para cada indicador. A Tabela 7.13 apresenta os resultados dos cálculos para cada um dos indicadores e os seus índices de veto, objetivando verificar aqueles que, individualmente, fariam com que a alternativa de projeto fosse vetada.

**Tabela 7.13 – Resultados dos indicadores e análise quanto aos índices de veto**

<b>Indicador</b>	<b>Valor Calculado</b>	<b>Índice de Veto</b>	<b>Resultado</b>
I <sub>qt1</sub>	1,00	0,50	OK
I <sub>qt2</sub>	1,00	0,80	OK
I <sub>qt3</sub>	0,50	Não Possui	-
I <sub>r1</sub>	0,98	Não Possui	-
I <sub>r2</sub>	1,00	1,00	OK
I <sub>r3</sub>	1,00	1,00	OK
I <sub>qL1</sub>	0,59	0,50	OK
I <sub>qL2</sub>	0,00	0,50	VETO
I <sub>qL3</sub>	Não Calculado	0,50	-
I <sub>qL4</sub>	Não Calculado	0,50	-

Com base nas informações constantes na Tabela 7.13, pode ser verificado que apenas o indicador I<sub>qL2</sub> teve seu valor abaixo do índice de veto levando, desde já, à necessidade de alterações no projeto quanto ao aspecto vetado, de forma a seguir os critérios técnicos definidos.

No entanto, para o resultado da análise global das alternativas de projeto, há a necessidade, ainda, da aplicação dos métodos de análise multicritério propostos.

Posteriormente, os resultados obtidos com a aplicação desses métodos serão verificados por meio de análises de sensibilidade e robustez, buscando verificar a influência proporcionada pela alteração dos parâmetros básicos no resultado final.

#### 7.4.3.1- TOPSIS

A aplicação do método TOPSIS para a análise global do projeto para o condomínio Vale dos Cristais foi realizada com a média dos pesos arbitrados por todos os especialistas e o coeficiente  $p$  igual a 2, conforme apresentado na proposição da metodologia.

O resultado da aplicação desse método é dado por meio do valor da Taxa de Similitude ( $D_p$  ( $a_i$ )) que foi obtido igual a 0,68 para o projeto em análise. Com esse valor, o resultado da aplicação da metodologia proposta levaria o projeto do Condomínio do Vale dos Cristais a ser considerado aceitável com a ressalva de necessidade de alteração no que se refere ao atendimento ao indicador I<sub>qL2</sub>, que verificou a disponibilidade hídrica para a diluição do efluente advindo do esgotamento sanitário. Isso ocorre, pois o valor obtido pela análise global foi superior à alternativa de referência considerada como 0,50, mas teve um dos indicadores com valor calculado inferior ao índice de veto.

Nesse caso, a recomendação do órgão gestor poderia ser pela melhoria no tratamento do efluente do esgotamento sanitário ou a mudança do lançamento para algum corpo de água receptor com maior vazão disponível para a sua diluição. Essas alternativas deveriam ser estudadas pelo empreendedor para fazer com que o indicador  $I_{qL2}$  atendesse ao índice de veto.

Posteriormente, foram realizadas as análises de sensibilidade e robustez, para verificação da influência da incerteza dos parâmetros básicos e possíveis valores que alterariam a decisão final do analista.

A primeira análise realizada foi o cálculo da Taxa de Similitude ( $D_p(a_i)$ ) com as diferentes ponderações de pesos arbitradas pelos pesquisadores e pelos gestores de recursos hídricos. A Tabela 7.14 apresenta a comparação dessa Taxa calculada pelas três ponderações de pesos: a média dos pesos arbitrados pelos pesquisadores; a média dos pesos arbitrados pelos gestores de recursos hídricos; e a média dos pesos arbitrados por todos os especialistas.

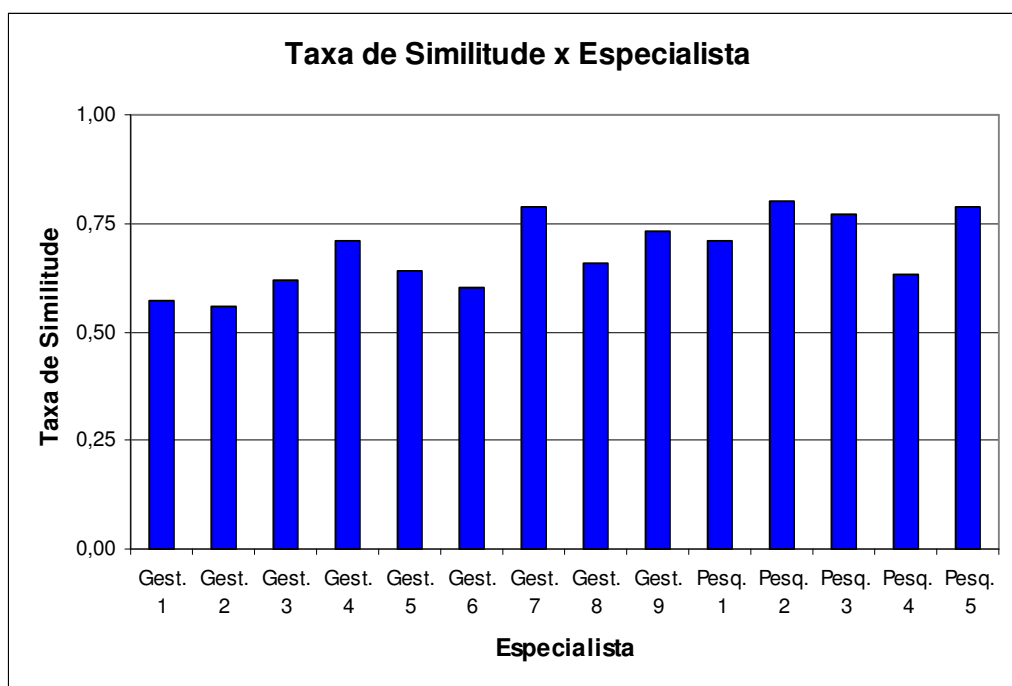
**Tabela 7.14 – Resultado da Taxa de Similitude para as diferentes ponderações**

Taxa Similitude/Ponderação	Pesquisadores	Gestores	Todos Especialistas
$D_p(a_i)$	0,74	0,65	0,68

Os resultados apresentados na Tabela 7.14 mostram pequenas diferenças no valor obtido para a Taxa de Similitude para os três conjuntos de pesos. No entanto, nas três situações a decisão do analista seria a mesma, ou seja, o projeto do condomínio do Vale dos Cristais seria considerado aceitável com a ressalva de alteração em parâmetros de projeto referentes ao mesmo indicador  $I_{qL2}$ .

A diferença nos resultados obtidos pela ponderação atribuída pelos gestores e pelos pesquisadores ocorreu em função destes terem dado menor importância para o indicador  $I_{qL2}$  (6,50%) na análise global que os primeiros (12,22%).

A segunda análise realizada foi por meio da aplicação dos pesos arbitrados por cada um dos especialistas separadamente, de forma a verificar sua influência na decisão quanto à aceitação do projeto. A Figura 7.1 apresenta os resultados obtidos para a Taxa de Similitude calculada com os pesos de cada especialista.



**Figura 7.1** – Taxa de Similitude calculada com a ponderação de cada especialista

As informações apresentadas na Figura 7.1 mostram boa sensibilidade nos resultados com as ponderações de cada especialista, com Taxas de Similitude variando de 0,56 (gestor 2) a 0,80 (pesquisador 2). No entanto, pode ser observado que nenhum deles tomaria, individualmente, decisão diferente daquela obtida com a média dos pesos arbitrados, uma vez que todos os valores calculados foram superiores a 0,50. Nesta análise pôde ser verificado, ainda, que a Taxa de Similitude não teve grande variação com a aplicação das ponderações arbitradas pelos técnicos do IGAM, que seriam os responsáveis pela avaliação do projeto em questão.

Apenas um dos indicadores ( $I_{qL2}$ ) teve seu valor abaixo do índice de veto correspondente a 0,50. Nesse caso, outra verificação realizada foi por meio do aumento dos valores dos pesos desse indicador, reduzindo os outros na mesma proporção, de forma a observar qual o valor que alteraria a decisão do analista. Essas alterações foram feitas com a ponderação obtida com a média dos pesos arbitrados por todos os especialistas.

Como resultado dessa análise, a decisão só seria alterada se o indicador  $I_{qL2}$  tivesse peso correspondente a cerca de 23% da análise global. Esses valores mostram a robustez do resultado da agregação realizada pelo método multicritério, uma vez que a decisão do analista não seria alterada com pequenas modificações no peso desse indicador.

Continuando as análises de sensibilidade dos resultados, foram variados os valores dos pesos de cada um dos outros indicadores em 10% para mais ou para menos, verificando sua influência no resultado final. Essa alteração dos pesos dos indicadores fez variar em cerca de 1% a 9% o resultado da Taxa de Similitude. Apenas o indicador  $I_{qL2}$  fez reduzir essa Taxa em 22% no caso do aumento de seu peso em 10% e aumentou a taxa em 16% no caso da redução de seu peso. Esse fato ocorreu em função dos outros indicadores terem valores mais próximos daquele obtido para a Taxa de Similitude. Sendo assim, é normal que a mudança do peso de um indicador que tenha valor mais disperso em relação a essa Taxa cause maior impacto no resultado final.

Outra análise realizada foi a supressão de cada um dos indicadores de forma separada de forma a verificar sua influência no resultado final, caso o analista não tivesse informações suficientes ou adequadas para seu cálculo. Nessa situação, o valor da Taxa de Similitude teve variações de 1% a 4% para cada um dos indicadores, exceto no caso da supressão do  $I_{qL2}$  que fez aumentá-la em 16%, para 0,79. Esse resultado também mostrou maior variação dessa Taxa para indicadores cujos valores tiveram maiores diferenças em relação ao seu valor inicial. Essa variação dos resultados finais demonstrou boa sensibilidade do modelo a modificações nos pesos de cada indicador.

Por fim, vale ressaltar que, em todos os testes realizados, a supressão de nenhum indicador individualmente ou a mudança dos seus pesos em 10% para mais ou para menos, alterou a decisão do analista, o que mostra robustez no resultado obtido.

#### 7.4.3.2- Electre TRI

Assim como para o TOPSIS, a análise realizada por meio do Electre TRI foi com base na média dos valores dos pesos atribuídos por todos os especialistas consultados. Quanto aos limiares de indiferença, preferência e veto foram aplicados aqueles apresentados quando da proposição da metodologia, correspondendo, respectivamente, a 0,05; 0,20 e 0,60. Outro valor atribuído, ainda, foi o Nível de Corte ( $\lambda$ ) que correspondeu a 0,750.

Com esses parâmetros, a análise do projeto do Condomínio Vale dos Cristais resultou nos Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$  iguais, respectivamente a 0,759 e 0,002. Esses valores fizeram com que o projeto fosse preferível em relação à alternativa fictícia b ( $a > b$ ), levando à sua consideração como aceitável. Uma vez que o indicador  $I_{qL2}$  teve valor inferior ao



definido para o índice de veto, a decisão do analista seria pela consideração do projeto como aceitável, mas com a necessidade de alteração nos parâmetros referentes a esse aspecto.

Esse resultado é semelhante àquele obtido com o método TOPSIS e o órgão gestor de recursos hídricos poderia recomendar ao empreendedor a melhoria no sistema de tratamento previsto para o efluente do esgotamento sanitário ou o lançamento desse efluente em corpo de água com maior disponibilidade hídrica para sua diluição. Alternativas de projeto poderiam ser apresentadas pelo empreendedor de forma a que o indicador  $I_{qL2}$  atendesse ao índice de veto.

Posteriormente, os parâmetros e resultados obtidos foram verificados por meio de análises de sensibilidade e robustez. A primeira análise realizada foi por meio da aplicação de conjuntos diferentes de pesos referentes à média daqueles arbitrados pelos pesquisadores e pelos gestores de recursos hídricos. A Tabela 7.15 apresenta os resultados para os Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$ .

**Tabela 7.15** – Resultado dos Índices de Credibilidade para as diferentes ponderações

Ind de Credibilid./Pond.	Pesquisadores	Gestores	Todos Especialistas
$\sigma(a,b)$	0,782	0,737	0,759
$\sigma(b,a)$	0,001	0,002	0,002

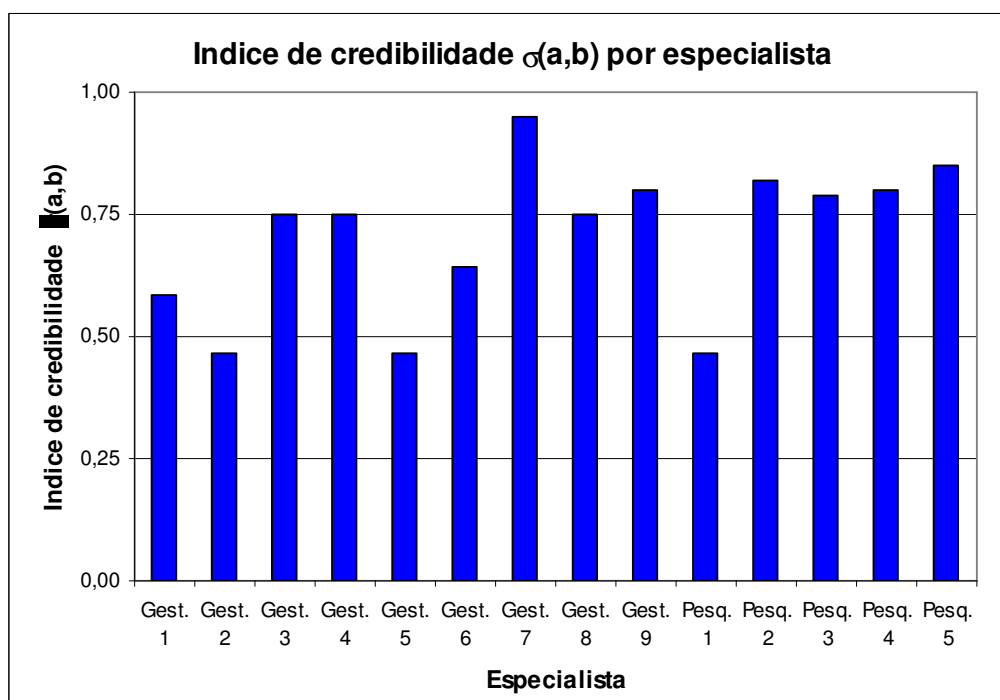
Apesar dos índices de credibilidade não terem tido grandes variações, o valor obtido para o  $\sigma(a,b)$  com a ponderação arbitrada pelos gestores foi inferior ao nível de corte ( $\lambda$ ), o que fez com que o projeto fosse considerado incomparável em relação à alternativa fictícia (a R b). Essa incomparabilidade foi obtida uma vez que, tanto o índice de credibilidade  $\sigma(a,b)$  quanto  $\sigma(b,a)$ , foram inferiores ao nível de corte e nenhuma das alternativas pôde ser considerada superior à outra.

Nessa situação, o analista teria duas alternativas: a primeira delas seria reduzir o nível de corte para valor inferior a 0,737, o que determinaria a sobre-classificação entre as duas alternativas e faria com que aquela com maior Índice de Credibilidade fosse considerada superior; a segunda alternativa seria verificar o valor obtido para  $\sigma(a,b)$  caso o indicador  $I_{qL2}$  atendesse ao índice de veto de 0,50. Essa possibilidade poderia ser aventada uma vez que a consideração do projeto como aceitável dependeria do atendimento desse indicador ao índice de veto.

Sendo assim, foi refeito o cálculo do Índice de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  considerando o valor do indicador  $I_{qL2}$  como 0,50 e o valor obtido foi de 0,869, o que fez com que o projeto em análise

fosse preferível em relação à alternativa fictícia ( $a > b$ ). Esse resultado foi relevante para a conclusão de que as três ponderações aplicadas para os indicadores levariam ao mesmo resultado final, considerando o projeto aceitável uma vez que ele sobre-classificaria a alternativa fictícia.

Continuando os testes realizados, a avaliação do projeto foi feita separadamente com a ponderação de cada um dos especialistas. A Figura 7.2 apresenta os Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  calculados com a ponderação de cada especialista. No caso dos Índices de Credibilidade  $\sigma(b,a)$ , todos os valores calculados foram variáveis de 0,001 a 0,005, sendo considerados insignificantes.



**Figura 7.2** – Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  com a ponderação de cada especialista

Os índices de credibilidade  $\sigma(a,b)$  tiveram grande variação, de 0,464 (gestores 2 e 4 e pesquisador 1) a 0,950 (gestor 7), mostrando que, alguns deles poderiam, individualmente, considerar o projeto como incomparável em relação à alternativa fictícia. No caso dos técnicos do IGAM, que seriam os responsáveis pela análise do empreendimento em questão, não foram verificadas grandes diferenças nos resultados, levando a decisão semelhante pela consideração do projeto em estudo como aceitável.

Outro teste realizado foi por meio da variação do peso do indicador  $I_{qL2}$  que foi o único que teve valor inferior ao índice de veto. O peso desse indicador foi aumentado na mesma proporção que o peso da soma dos outros indicadores foi reduzido, de forma a verificar o valor que levaria a alterar a decisão do analista. Essa análise mostrou robustez dos resultados obtidos, uma vez que a decisão do analista seria modificada apenas caso o peso desse indicador fosse tivesse valor semelhante a 70% do peso total dos indicadores. Sendo assim, pôde ser observado que pequenas mudanças no peso desse indicador não afetariam a decisão final do analista.

Posteriormente, foi realizado outro teste com os indicadores, suprimindo-os individualmente, objetivando verificar a possibilidade de alteração no resultado da análise global. Essa supressão foi realizada uma vez que o analista poderia não ter informações suficientes ou adequadas para o cálculo de determinado indicador. Como resultado desse teste, foi verificado que a supressão de nenhum indicador, individualmente, alteraria o resultado da análise global. Os valores obtidos para o Índice de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  tiveram variações sensíveis em função da supressão de cada um dos indicadores, mas sem alterar o resultado final o que mostrou sensibilidade do modelo, mas ao mesmo tempo robustez na decisão do analista.

Finalmente, foram variados os valores dos limiares de indiferença e preferência para cada um dos indicadores, também para verificar a sensibilidade dos resultados obtidos.

Primeiramente, foram definidos valores nulos para os limiares de indiferença e preferência de forma que os indicadores se comportassem como critérios verdadeiros. O resultado desse teste levou a pequenas variações nos índices de credibilidade sem, entretanto, alterar a decisão do analista.

Posteriormente, os limiares de indiferença foram aumentados em intervalos de 5% até o valor de 20%, o que não alterou os índices de credibilidade, uma vez que não havia indicadores cujos valores diferiam entre 5% e 20% daqueles arbitrados para a alternativa de referência.

Por fim, o último teste realizado foi com o aumento dos limiares de preferência em intervalos de 10% até o valor máximo de 50%. Assim como o teste anterior, as alterações nesses limiares não modificaram a decisão final do analista.

Em síntese, todos os testes realizados resultaram em modificações nos valores dos índices de credibilidade, mas sem alterar a decisão final do analista, mostrando sensibilidade nos resultados do modelo e robustez na decisão obtida.

#### **7.4.4- Comparação dos resultados obtidos por outros especialistas**

Para realizar a verificação de robustez da metodologia proposta, foi realizada outra análise com o apoio de pesquisadores. As informações básicas do presente estudo de caso foram encaminhadas para três doutorandos de universidades distintas, solicitando que fizessem suas análises do projeto em questão. Essa análise visou verificar diferenças nos cálculos realizados por eles e pelo autor que poderiam alterar a decisão.

Os três doutorandos que receberam as informações e realizaram as análises do presente estudo de caso foram:

- Jussanã Milograna (Universidade de Brasília – UnB);
- Priscilla Macedo Moura (*Institut National des Sciences Appliquées* – INSA-Lyon);
- Wilson dos Santos Fernandes (Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG).

Para cada um desses pesquisadores foram encaminhados, via digital, três arquivos. O primeiro apresentou a metodologia proposta, explicando cada um dos indicadores e suas expressões de cálculo, além do método multicritério TOPSIS e os resultados possíveis para a análise do projeto. O segundo arquivo tratou do modelo TOPSIS em planilha digital, preparado de forma que os especialistas precisariam preencher apenas os valores calculados para os indicadores. Por fim, o terceiro arquivo encaminhado fez uma apresentação da área em estudo, incluindo as informações necessárias aos cálculos dos indicadores.

Uma vez que o objetivo dessa etapa de análise era verificar o cálculo dos indicadores por outros doutorandos e sua percepção da aplicação da metodologia, foi aplicado apenas o método TOPSIS, com o coeficiente  $p$  igual a 1, referente à distância retangular à solução ideal, com pesos iguais para todos os indicadores. Essas premissas foram adotadas de forma a facilitar o entendimento do processo de aplicação do método multicritério por parte dos doutorandos.

Para cada um dos pesquisadores foram solicitados os seguintes resultados: o valor calculado para cada indicador e sua comparação com o índice de veto; o valor obtido para a Taxa de

Similitude ( $D_p(a_i)$ ); o resultado final de sua análise do projeto e suas observações e percepções quanto à análise realizada.

A Tabela 7.16 apresenta uma comparação dos resultados obtidos para cada indicador neste estudo e por cada doutorando, com destaque em negrito para o único valor diferente entre os calculados pelos três outros doutorandos.

**Tabela 7.16** – Resultados dos cálculos dos indicadores pelos doutorandos

<b>Indicador</b>	<b>Informações do Presente Estudo</b>	<b>Dout. 1</b>	<b>Dout. 2</b>	<b>Dout. 3</b>
$I_{qt1}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$I_{qt2}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$I_{qt3}$	0,50	0,50	0,50	0,50
$I_{r1}$	0,98	0,98	0,98	0,98
$I_{r2}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$I_{r3}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$I_{qL1}$	0,59	0,59	0,59	0,59
$I_{qL2}$	0,00	0,00	0,00	0,00
$I_{qL3}$	Não Calculado	<b>0,58</b>	Não calculado	Não calculado
$I_{qL4}$	Não Calculado	Não Calculado	Não calculado	Não calculado

A análise das informações constantes na Tabela 7.16 mostra que, para quase todos os indicadores os resultados obtidos foram iguais. Apenas no caso do indicador  $I_{qL3}$ , foi verificada diferença no resultado apresentado pelo doutorando 1. Esse doutorando foi consultado e explicou que, por falta de informações em relação às águas pluviais, preferiu aplicar aquelas usadas para o indicador  $I_{qL1}$ . Apesar da boa intenção em tentar realizar o cálculo do indicador, mesmo com informações referentes ao efluente de esgotamento sanitário, sua idéia levou à duplicidade na verificação da concentração de DBO nos efluentes domésticos, o que poderia influenciar o resultado final da análise.

Em síntese, a apresentação de resultado diferente em apenas um indicador para um dos doutorandos mostrou robustez da metodologia e pequena influência de subjetividade do analista nos seus cálculos.

A primeira verificação realizada com os indicadores calculados tratou dos índices de veto para cada um deles. No que se refere a esse aspecto, os três doutorandos apresentaram resultados iguais ao obtido nesta pesquisa e mostrado na Tabela 7.13, em que apenas o indicador  $I_{qL2}$  teve valor inferior ao seu índice de veto definido.

Posteriormente, foram comparados os resultados obtidos pela aplicação do método de análise multicritério TOPSIS, sendo apresentados os resultados de cada doutorando na Tabela 7.17.

**Tabela 7.17 – Taxas de Similitude calculadas por doutorando**

<b>Taxa de Similitude</b>	<b>Informações do Presente Estudo</b>	<b>Dout. 1</b>	<b>Dout. 2</b>	<b>Dout. 3</b>
$D_p(a_i)$	0,76	0,74	0,76	0,61

Os resultados apresentados na Tabela 7.17 mostram diferenças nos resultados obtidos para as Taxas de Similitude calculadas por cada doutorando. O doutorando 2 obteve valor igual ao calculado com as informações do presente estudo. No caso do doutorando 1, o valor obtido foi pouco inferior em função do valor calculado para o indicador  $I_{qL3}$ , que tendeu a reduzir essa Taxa. A diferença mais sensível ocorreu no resultado obtido pelo terceiro doutorando e foi devida à aplicação de valor nulo para os dois indicadores  $I_{qL3}$  e  $I_{qL4}$  no método TOPSIS. Esse aspecto foi também relatado pelo doutorando 2 que, apesar de ter apresentado o valor correspondente a 0,76, teve dúvidas acerca da necessidade de aplicação de algum valor para os dois indicadores não calculados.

Esse aspecto mostrou um ponto relevante da metodologia proposta que trata da não necessidade de aplicação de todos os indicadores quando da inexistência de informações disponíveis para o cálculo de algum deles. Para não penalizar a alternativa de projeto em função da ausência de informações disponíveis por parte do analista, recomenda-se a sua supressão do cálculo, não devendo ser arbitrado valor algum para ele.

No entanto, um resultado semelhante obtido em todas as análises tratou da conclusão do projeto como aceitável, mas com a necessidade de alteração no projeto ou mitigação de impacto referente ao lançamento das águas de esgotamento sanitário. Em todas as análises realizadas o resultado final foi o mesmo, assim como o aspecto em que foi verificada necessidade de melhoria, o que reforça a robustez na metodologia e a reduzida influência subjetiva do analista. Foram semelhantes, ainda, as sugestões dos doutorandos pela melhoria dos sistemas de tratamento dos efluentes de esgotamento sanitário.

Quanto às observações e percepções dos doutorandos, foi verificado o mesmo comentário dos três acerca da objetividade e facilidade do cálculo dos indicadores com a utilização de informações de cálculo direto como vazões ou volumes. Vale ressaltar que, uma vez que o objetivo da análise não era verificar o cálculo hidráulico ou hidrológico por diferentes

analistas, esses volumes e vazões advindos do projeto já foram encaminhados para cada doutorando.

Um dos doutorandos sentiu a necessidade de conhecimento do projeto de forma mais detalhada, mas comentou que, para a decisão quanto à aceitação das suas interferências nos corpos de água, considerou adequadas as informações recebidas e utilizadas para o cálculo.

Outro doutorando comentou sobre o tempo gasto de duas horas para o cálculo de todos os indicadores e aplicação da metodologia. Essa afirmativa foi relevante para mostrar a possibilidade de aplicação da metodologia proposta no cotidiano do órgão gestor de recursos hídricos.

Por fim, o terceiro doutorando comentou considerar a qualidade das águas remanescentes nos corpos de água um “*fator vital para a sustentabilidade do projeto*”, uma vez que foi verificado que o lançamento de efluentes domésticos poderia levar o corpo de água a padrão de qualidade inferior à sua classe de enquadramento. Ele lembrou, entretanto, que a vazão remanescente de 70% da  $Q_{7,10}$  para diluição de efluentes no Estado de Minas Gerais é considerada bastante restritiva e que, na grande maior parte do tempo, as vazões escoadas nos corpos de água superficiais são bastante superiores a esse valor. Sendo assim, para tratar esse aspecto referente às vazões disponíveis para diluição de efluentes, sua sugestão foi a verificação da possibilidade de adoção de outras vazões de referência, notadamente vazões de permanência, o que possibilitaria uma análise mais realista da situação.

Com efeito, a adoção de vazões de permanência como referência pode ser relevante para verificar o tempo médio em que o corpo de água receptor não possui vazão de diluição suficiente para o efluente a ser lançado. Esse aspecto deve ser observado pelos órgãos gestores de recursos hídricos ao definir seus critérios legais de vazões de referência para captação e diluição de efluentes.

Sendo assim, a aplicação da metodologia por outros doutorandos foi relevante e concluiu pela possibilidade de sua aplicação, de forma semelhante, por técnicos de órgãos gestores diferentes. Vale ressaltar que esses técnicos devem ser especialistas em recursos hídricos, como foi o caso dos três doutorandos, para estar aptos à obtenção das informações básicas e a calcular os parâmetros hidráulicos e hidrológicos, além de compreender os dados de projeto.

## **7.5- Estudo de Caso de uma Área Urbanizada em Goiânia**

### **7.5.1- Introdução**

A segunda área escolhida para aplicação da metodologia proposta e desenvolvimento de estudo de caso tratou de uma região intensamente urbanizada na cidade de Goiânia-GO. Essa região foi objeto da dissertação de mestrado de Milograna (2001) pela Universidade de Brasília.

A região possui cerca de 17 ha de área e faz parte de uma sub-bacia da bacia hidrográfica do córrego Vaca Brava, o afluente mais extenso do córrego Cascavel. A maior parte de sua extensão está situada em área nobre. O córrego em questão teve, por algum tempo, suas nascentes comprometidas por lançamentos das redes de esgoto sanitário, erosão e desmatamento.

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 do Vaca Brava com a finalidade de oferecer lazer à população, principalmente durante os fins de semana e nos fins de tarde. A área compreende, ainda, duas praças: T-25 e a rótula de encontro das avenidas T-65 e 85, que foram opções de estruturas de retenção estudadas.

Conforme afirmado anteriormente, a região encontra-se com alto índice de urbanização, sendo comum encontrar lotes com 100% de sua área impermeabilizada, ocupados por edifícios residenciais e comerciais. Sendo assim, durante os eventos de precipitação com grande intensidade é comum verificar problemas no trânsito de veículos e pedestres em diversos pontos da bacia.

Esta área foi escolhida para ser trabalhada como estudo de caso por se tratar de uma área já urbanizada e com projetos e estudos para a melhoria de sua drenagem, hoje bastante comprometida. Estes projetos incluem estudos com a utilização de técnicas clássicas de drenagem urbana e alternativas como a implantação de bacias de retenção nos lotes ou a utilização das praças existentes como estruturas de controle. Sendo assim, tratando-se de uma área urbanizada, este estudo de caso ganha relevância para verificação da pertinência da análise e comparação das informações atuais e de projeto em relação ao quadro natural.

Nos estudos realizados por Milograna (2001), foram consideradas e comparadas, segundo critérios técnicos e de custo de implantação das obras, três alternativas para a drenagem para a



área em questão. Além disso, foram realizadas simulações de vazões de cheias e de funcionamento da rede de drenagem existente para uma situação de pré-urbanização, outra considerando uma área de cerca de 30% impermeável e a terceira para a situação futura. Na situação futura foram desenvolvidos pela autora os três cenários alternativos, todos considerando a ocupação prevista para a região a partir da Lei de Zoneamento e Uso do Solo aprovada no ano de 1994, com índice de áreas impermeáveis médio de 88%.

Para aplicação da metodologia proposta, foram consideradas as três alternativas desenvolvidas em seu trabalho, a saber:

- Cenário I – Sistema clássico, com a adoção de uma rede separativa clássica, sem respeitar as restrições de vazão máxima a jusante;
- Cenário II – Sistema intermediário, com a incorporação de duas bacias de detenção em áreas públicas ao sistema clássico;
- Cenário III – Sistema intermediário, com a incorporação de bacias de detenção na saída de cada parcela ao sistema clássico.

### **7.5.2- Cálculo dos indicadores**

Os indicadores foram calculados com base em informações constantes em Milograna (2001), Moura (2004), SNIS (2004) e Saneago (2006), além de outras informações básicas transmitidas por Jussanã Milograna e utilizadas em seu estudo de mestrado.

#### 7.5.2.1- Indicadores referentes às alterações de quantidade nos corpos de água

##### Indicador $I_{qt1}$

A análise prevista para o indicador  $I_{qt1}$  tem a finalidade de verificar o volume de infiltração de projeto em relação ao volume de infiltração da área caso estivesse em sua situação natural. Os três cenários de projeto foram desenvolvidos com base na ocupação prevista para a área conforme previsão legal do Plano Diretor de Urbanização do município de Goiânia. Além disso, nenhuma das alternativas teve previsão específica de técnica de drenagem por meio da infiltração. As alternativas estudadas versaram sobre o aspecto rearranjo temporal de vazões por meio da detenção nas parcelas ou em áreas públicas. Com isso, não foi verificada diferença nos volumes de infiltração médios anuais entre as três alternativas, levando a valor semelhante para o indicador nos três cenários.

O primeiro parâmetro necessário é o volume infiltrado médio anual da área em seu estado natural. Esse valor pode ser obtido por meio da área de projeto (17 ha), da precipitação média anual, correspondente a 1.550mm e do percentual médio de infiltração anual de cerca de 9% para a região em sua situação natural:

$$V_{inf\_nat} = 0,090 \cdot \frac{1.550}{1000} \cdot (17 \cdot 10.000) = 23.715 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Após a urbanização com o cenário futuro, foi buscado o volume de infiltração médio anual previsto. Uma vez que as alternativas de projeto não prevêm estruturas de drenagem por meio da infiltração como valas, trincheiras ou bacias, as taxas de infiltração das áreas permeáveis no cenário de pré-urbanização e do cenário futuro serão semelhantes. Nesse sentido, a variação do volume de infiltração foi obtida por meio da relação de áreas permeáveis. Estas áreas eram de 70% no cenário de pré-urbanização e passam a ser de 12% no cenário futuro, devendo o volume de infiltração médio anual ser reduzido na mesma proporção, passando para cerca de 1,5% do volume precipitado médio anual, ou seja:

$$V_{inf\_med} = 0,015 \cdot \frac{1.550}{1000} \cdot (17 \cdot 10.000) = 4.065 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Uma vez que o  $V_{inf\_med}$  é inferior ao  $V_{inf\_nat}$ , o cálculo proposto para o indicador foi realizado a partir da relação entre os dois termos:

$$I_{qrl} = \frac{V_{inf\_med}}{V_{inf\_nat}} = \frac{4.065}{23.715} = 0,17.$$

Quanto aos parâmetros básicos ao cálculo deste indicador, foi verificada dificuldade na obtenção de seus parâmetros com determinada precisão. Os valores obtidos para o volume médio de infiltração na situação natural e após a implantação da alternativa de projeto podem não ter grande precisão, em função da dificuldade de sua definição no balanço hídrico. No entanto, a relação entre os dois volumes foi considerada relevante para avaliar este aspecto. Além disso, a magnitude das incertezas será a mesma entre os volumes de infiltração natural e após o projeto, o que permite a sua comparação.

O baixo valor resultante do seu cálculo, mostrou a alta impermeabilização da área tratada com técnica de drenagem clássica no caso do cenário I ou de retenção do escoamento no caso dos cenários II e III. Em não havendo previsão de utilização de técnica de drenagem por meio da infiltração, a tendência é o escoamento das águas para jusante no período chuvoso e a baixa

recarga de aquíferos, levando à possível redução das vazões escoadas no período seco. Nesses casos de áreas já urbanizadas, o resultado do indicador se mostra relevante ao decisor para a tomada de decisão quanto à determinação ao empreendedor de implantação de técnica que preveja a infiltração de águas pluviais. Outra alternativa poderia ser a alteração no seu cálculo no que se refere ao volume desejável de infiltração média anual, considerando valor inferior àquele ocorrido na situação natural em função de possível inviabilidade técnica.

### Indicador $I_{qt2}$

Este indicador trata da verificação da disponibilidade hídrica para atendimento à população prevista dentro da área de projeto. Uma vez que para os três cenários estudados a população abastecida é a mesma e não há previsão de diferenças no sistema de coleta e tratamento de esgotos, o cálculo deste indicador foi realizado com os mesmos parâmetros para as três alternativas avaliadas. Tratando-se de uma área dentro de uma cidade, deverá ser feita uma simplificação no cálculo do indicador, verificando a área apenas quanto à disponibilidade hídrica local.

Com isso, o primeiro parâmetro calculado tratou da demanda média anual,  $Q_{dem}$ . A superfície de projeto tem área de 17ha e densidade populacional de 430hab/ha, perfazendo uma população de cerca de 7.310 habitantes. O consumo médio verificado na cidade de Goiânia é de cerca de 150 L/hab/dia. Com essas informações, e considerando o coeficiente do dia de maior consumo K1 como 1,2, pôde ser calculada a vazão de demanda máxima:

$$Q_{dem} = \frac{1,2 \cdot 150 \cdot 7310}{86.400} = 15,2 \text{ L/s.}$$

A vazão  $Q_{min}$  utilizada no cálculo do indicador foi a vazão de referência aplicada no Estado de Goiás para emissão das outorgas de direito de uso de recursos hídricos, que corresponde à  $Q_{95}$  (vazão de permanência por período mínimo de 95% do tempo) e o máximo outorgável equivalente a 70%. Nesse sentido, a vazão mínima remanescente aplicada no cálculo do indicador ( $Q_{rem\_min}$ ) correspondeu a 30% da mesma vazão  $Q_{95}$ .

Para o ponto mais a jusante do córrego Vaca Brava, a vazão  $Q_{min}$  foi obtida correspondendo a 39,0 L/s e a vazão  $Q_{rem\_min}$  foi calculada como 11,7 L/s. Com essas informações, o indicador pôde ser calculado:

$$Q_{dem} + Q_{rem\_min} = 15,2 + 11,7 = 26,9 \text{ L/s.}$$

Uma vez que esse valor é inferior à vazão  $Q_{\min}$  de 39,0 L/s, o indicador assume seu valor máximo, ou seja:

$$I_{qt2} = 1.$$

A viabilidade de cálculo desse indicador foi constatada por meio da determinação de seus parâmetros básicos. Dentre os parâmetros necessários, dois são dependentes da legislação de recursos hídricos, correspondendo a  $Q_{\min}$  à vazão de referência utilizada para outorgas e a  $Q_{rem\_min}$  à remanescente mínima, também dentro dos critérios de outorga. O terceiro parâmetro necessário é a vazão de demandas da área e depende de parâmetros de projeto sendo, portanto, de cálculo factível.

Sua relevância pôde ser observada e a formulação foi verificada pertinente, uma vez que sua aplicação foi adequada para constatar a disponibilidade hídrica local para abastecimento das necessidades hídricas da área.

#### Indicador $I_{qt3}$

A previsão de estruturas que possibilitem a reutilização ou recuperação de águas é verificada por meio desse indicador. De acordo com a urbanização e as técnicas previstas de drenagem, pode ser viabilizada a recuperação de águas pluviais para sua utilização com fins diversos como limpeza de pátios ou áreas públicas. Sendo assim, as expressões desse indicador relacionam o volume médio previsto de reutilização de efluentes tratados ou recuperação de águas pluviais para uso na área de projeto ( $V_{re}$ ) com o volume médio anual previsto de demandas ( $V_{tot\_dem}$ ).

O volume médio anual de demandas na área em estudo é semelhante para os três cenários analisados, uma vez que não há diferença no tipo de ocupação. Esse volume pode ser calculado com base nas informações apresentadas para o indicador anterior, ou seja, população estimada e consumo médio diário per capita.

$$V_{tot\_dem} = \frac{7.310 \cdot 150 \cdot 365}{1000} = 400.223 \text{m}^3/\text{ano}.$$

No entanto, as águas acumuladas nas parcelas ou nas áreas públicas por meio dos sistemas propostos de retenção para o rearranjo temporal de vazões, podem ser utilizadas para outros fins. Nesse sentido, cada um dos três cenários apresentará valores diferentes de volumes possíveis de serem recuperados de águas pluviais para outras finalidades.

### Cenário I

Esse cenário prevê o escoamento das águas pluviais pela rede de drenagem clássica, sem utilização de técnica compensatória de retenção. Com isso, não havendo a retenção, não há possibilidade de recuperação das águas para utilização para outros fins, podendo ser considerado nulo o  $V_{re}$  para o cálculo do indicador. Dessa forma, o indicador assume o seu valor mínimo, ou seja:

$$I_{qt3} = 0,50$$

### Cenário II

Este cenário incorpora, no sistema clássico de redes de drenagem, duas bacias de detenção localizadas nas áreas públicas, notadamente duas praças já existentes. Esses dois reservatórios têm áreas de 800m<sup>2</sup> e 1950m<sup>2</sup>, com profundidade de 0,93m para o primeiro e 1,00m para o segundo. Sendo assim, o volume total previsto de acumulação é de cerca de 2.690m<sup>3</sup>. O volume médio anual de consumo com as águas de escoamento pluvial reservadas nas bacias, foi definido com base em simulação de balanço hídrico, considerando um volume diário de cerca de 100m<sup>3</sup> para aplicação com limpeza de áreas públicas, em função das superfícies ocupadas por áreas públicas dentro da área de projeto.

A simulação demonstrou a possibilidade de recuperação de um volume médio anual correspondente a 9 vezes o reservado nas duas bacias de detenção previstas. Com isso, tem-se:

$$V_{re} = 9 \times 2.690\text{m}^3 = 24.210 \text{ m}^3$$

$$I_{qt3} = 0,5 + \frac{V_{re}}{2 \cdot V_{tot\_dem}} = 0,5 + \frac{24.210}{2 \cdot 400.223} = 0,53.$$

### Cenário III

A terceira alternativa estudada prevê a implantação de reservatórios localizados nos lotes, objetivando que as vazões de saída dos lotes sejam iguais ou inferiores às observadas caso as áreas estivessem em sua situação natural. O total de lotes existentes na área em estudo é 194 e o volume total dos reservatórios previstos nas parcelas é de 2.405m<sup>3</sup>. Para o cálculo do volume médio possível de ser recuperado de águas pluviais nas parcelas, foi realizada simulação de balanço hídrico dos reservatórios previstos, considerando o consumo médio diário referente a limpeza de pátios, garagens e outros usos com fins menos nobres nas áreas

residenciais de cerca de 300 L/dia por residência individual. O resultado dessa simulação verificou a possibilidade de utilização média anual de cerca de 10 vezes o volume útil de cada reservatório. Com essas informações, pode ser calculado o indicador:

$$V_{re} = 10 \times 2.405\text{m}^3 = 24.050 \text{ m}^3$$

$$I_{qt3} = 0,5 + \frac{V_{re}}{2 \cdot V_{tot\_dem}} = 0,5 + \frac{24.050}{2 \cdot 400.223} = 0,53.$$

A aplicação deste indicador mostrou falta de sensibilidade nos resultados obtidos em função da expressão proposta. Apesar dos cenários II e III terem previsão de técnicas de detenção de águas pluviais, cujos reservatórios podem ser utilizados para a recuperação dessas águas para outros fins, o valor do indicador não variou muito entre cada cenário avaliado. Sendo assim, há a necessidade de revisão na expressão de cálculo.

Outro aspecto relevante verificado quanto a este indicador refere-se à sua correlação com o indicador anterior ( $I_{qt2}$ ). No caso de regiões com escassez hídrica, em que não há disponibilidade hídrica suficiente para o abastecimento das necessidades locais, o  $I_{qt3}$  assume maior relevância uma vez que, quanto maior a previsão de reutilização ou recuperação de águas, menor é a necessidade de captação de água bruta. Sendo assim, em algumas situações ele deve ser aplicado com precaução, de forma a não analisar determinados aspectos em redundância com o indicador  $I_{qt2}$ .

#### 7.5.2.2- Indicadores referentes às alterações de regime dos corpos de água

##### Indicador $I_{r1}$

Este indicador tem como objetivo comparar a vazão de cheia a jusante da área de projeto com a vazão de cheia da área em sua situação natural. Para a área em estudo, a vazão de jusante em sua situação natural corresponde a 2.724,89 L/s, conforme o período de retorno estudado. Para cada um dos três cenários de projeto, foi calculada a vazão de cheia com as mesmas informações básicas.

##### Cenário I

Para este cenário, a vazão de cheia de projeto calculada, foi de 4.784,35 L/s. Uma vez que esse valor é superior à vazão de jusante em sua situação natural, há a necessidade de ser estabelecido um coeficiente denominado  $K_{aum\_pico}$  que, conforme apresentado na proposição

do indicador, recomenda-se que esteja no Plano de Bacia aprovado. A proposta é que esse valor corresponda ao máximo aumento da vazão de pico natural que seria aceitável naquela área, referindo-se sua análise às perturbações causadas pela urbanização na vazão de cheia de jusante. Para a simulação do estudo de caso, foi adotado o valor 2, entendendo-se que a vazão de cheia máxima possível de ser escoada a jusante da área corresponderia a duas vezes a vazão natural. Nesse sentido, o indicador é calculado da seguinte forma:

$$I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_alt} - Q_{pico\_nat}}{K_{aum\_pico} \cdot Q_{pico\_nat} - Q_{pico\_nat}} = 1 - \frac{4784,35 - 2724,89}{2 \cdot 2724,89 - 4784,35} = 0,24$$

### Cenário II

No cenário II, a vazão de cheia calculada para o período de retorno de projeto, foi 2.606,90 L/s. Uma vez que essa vazão é inferior à vazão da área em sua situação natural, tem-se que:

$$I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_nat} - Q_{pico\_alt}}{2 \cdot Q_{pico\_nat}} = 1 - \frac{2724,89 - 2606,90}{2 \cdot 2724,89} = 0,98.$$

### Cenário III

A vazão de cheia calculada a jusante da área de projeto para este cenário corresponde a 2.466,00 L/s. Assim como para o cenário II, esta vazão é inferior à situação natural. Sendo assim, tem-se:

$$I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_nat} - Q_{pico\_alt}}{2 \cdot Q_{pico\_nat}} = 1 - \frac{2724,89 - 2466,00}{2 \cdot 2724,89} = 0,95.$$

Este indicador mostrou-se factível de ser calculado, uma vez que as vazões de pico para a situação natural e para a situação de projeto são possíveis de serem calculadas durante a elaboração do projeto. Considerando seu objetivo de análise das perturbações causadas pelo projeto no regime hidrológico de cheias, o indicador foi verificado como pertinente, com seus valores variando em função da diferença da vazão de cheia de projeto em relação à vazão de cheia na situação natural.

No entanto, seu cálculo mostrou subjetividade em função da necessidade de definição do coeficiente de aumento máximo da vazão de pico ( $K_{aum\_pico}$ ) para vazões de pico de projeto superiores à natural. O valor desse coeficiente não teve embasamento técnico em sua definição e pode acarretar variações sensíveis no resultado do indicador para valores não tão

diferentes de vazões escoadas a jusante. A sua aplicação foi relevante, então, para verificar a necessidade de revisão em sua formulação de cálculo.

### Indicador $I_{r2}$

Este indicador objetiva verificar as vazões de pico escoadas a jusante das alternativas de projeto com aquelas vazões que poderiam causar inundações em áreas já existentes. Sendo assim, foram realizados cálculos separados para cada cenário, uma vez que as vazões escoadas a jusante são diferentes em função das técnicas de drenagem previstas. A vazão que poderia causar inundação nas áreas a jusante foi calculada em função das dimensões atuais das galerias de drenagem, sendo verificado valor limite de cerca de 4.100 L/s. Essa vazão deve ser verificada junto às vazões de cheia para cada cenário já apresentadas no cálculo do indicador anterior.

#### Cenário I

Para este cenário, a vazão de cheia de projeto correspondeu a 4.784,35 L/s. Conforme a formulação de cálculo proposta, sendo superior à vazão que causaria inundação a jusante, o cálculo do indicador é realizado da seguinte forma:

$$I_{r2} = \frac{Q_{inund}}{Q_{pico\_alt}} = \frac{4.100,00}{4.784,35} = 0,86$$

#### Cenário II

No caso desse cenário, a vazão de cheia calculada foi de 2.606,90 L/s. Sendo esse valor inferior à vazão que causaria inundação a jusante, o indicador assume seu valor máximo, ou seja:

$$I_{r2} = 1,0.$$

#### Cenário III

No terceiro cenário desenvolvido, a vazão de cheia a jusante da área de projeto foi de 2.466,00 L/s. Assim como para o cenário anterior, esta vazão é inferior à vazão de pico que causaria inundação a jusante. Com isso, tem-se:

$$I_{r2} = 1,0.$$



### Indicador $I_{r3}$

Para a verificação do período de retorno para o qual a área de projeto será protegida, foi proposto o indicador  $I_{r3}$ . Os cálculos deste indicador para as alternativas em estudo devem ser realizados verificando o período de retorno de projeto em relação àquele período de retorno desejável. Os três cenários desenvolvidos tratam de sistemas de microdrenagem, uma vez que foram estudadas vazões referentes ao dimensionamento de redes e galerias de drenagem, além de dispositivos de drenagem superficial nas parcelas. As três alternativas de projeto desenvolvidas tiveram proteção das áreas para cheias de mesmo período de retorno  $T_{ret\_proj}$  de 5 anos, tendo sido o escolhido, conforme Milograna (2001), por se tratar de período recomendado em sua bibliografia consultada.

Conforme apresentado na proposta para a formulação do indicador, o período de retorno desejável deve ser determinado em Plano de Bacia ou no Plano de Desenvolvimento Urbano ou de Drenagem Urbana para a área. No entanto, nenhum dos documentos acima referidos possui definição de período de retorno para as obras de drenagem urbana da região. Sendo assim, para o estudo de caso, o período de retorno desejável foi buscado em recomendações de referências bibliográficas.

Dentre as referências consultadas, foi decidido pelo apresentado por R. Porto (1995). Segundo ele, os sistemas de microdrenagem de áreas urbanas são dimensionados para períodos de retorno variáveis de 2 a 10 anos. O período de retorno de 10 anos deve ser adotado quando a área apresentar artérias principais de tráfego e de 2 a 5 anos nos casos de áreas tipicamente residenciais e comerciais. Analisando a área em estudo, o período de retorno desejável  $T_{ret\_des}$  foi definido em 5 anos.

Com as informações apresentadas acima, pode ser verificado que o período de retorno de projeto  $T_{ret\_proj}$  e o período de retorno desejável são iguais, assumindo o indicador o seu valor máximo:

$$I_{r3} = 1,0.$$

No presente estudo de caso foi verificado não haver a definição de um período de retorno desejável em PDDU ou em Plano de Bacia. Sendo assim, foi necessária a busca de valor de referência em bibliografia técnica, o que levou à possibilidade de subjetividade no valor do indicador uma vez que publicações diferentes podem recomendar valores distintos.

### 7.5.2.3- Indicadores referentes às alterações na qualidade dos corpos de água

#### Indicador $I_{qL1}$

O indicador  $I_{qL1}$  trata da verificação do atendimento ao padrão de qualidade definido em legislação para as águas de esgotamento sanitário. Uma vez que as alternativas consultadas para os três cenários não contemplaram aspectos diferentes no que se refere ao tratamento de águas de esgotamento sanitário, esse indicador teria valor igual para os três cenários avaliados.

Conforme Agência Ambiental de Goiás (2003), os parâmetros a serem seguidos para o lançamento de efluentes são aqueles constantes na Resolução CONAMA nº 020/1986. Apesar de sua revogação pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que reviu os parâmetros considerados, essa atualização ainda não havia sido realizada pelo Estado de Goiás até a data de consulta a Agência Ambiental de Goiás (2006).

A Resolução CONAMA nº 020/1986, em seu artigo 21, estabeleceu as condições para as quais os efluentes, de qualquer fonte poluidora, poderiam ser lançados nos corpos de água superficiais. Dentre os parâmetros estabelecidos, não foram apresentados limites para a DBO constante no lançamento de efluentes. Mesmo a Resolução CONAMA nº 357/2005, que em seu artigo 34 estabelece as condições para os efluentes a serem lançados nos corpos de água, não define limites para o parâmetro DBO.

Com isso, o cálculo deste indicador foi prejudicado, não podendo ser realizado em função da ausência de limites definidos na legislação de meio ambiente federal ou estadual de Goiás. Nesse caso, pensou-se na possibilidade de aplicação de parâmetros definidos em legislação de outros estados. No entanto, em função de particularidades de cada Estado e cada bacia hidrográfica, foi decidido pela não utilização pois poderia enviesar o resultado da análise.

#### Indicador $I_{qL2}$

A análise proposta para o indicador  $I_{qL2}$  objetiva verificar a disponibilidade hídrica local para a diluição das águas de esgotamento sanitário a serem lançadas nos corpos de água da região. Assim como afirmado para o indicador anterior, não há diferenças previstas entre os três cenários estudados quanto aos sistemas de tratamento de efluentes domésticos, o que leva à obtenção de valor igual do indicador. Para sua aplicação, foi realizada simplificação de cálculo, considerando, a área em estudo de forma isolada do restante da cidade.

Primeiramente, foi calculada a vazão de diluição necessária para o curso de água receptor de forma a ser mantida sua classe de enquadramento. Para isso, houve a necessidade do cálculo do parâmetro  $C_{DBO}$  correspondente à DBO constante nas águas de esgotamento sanitário a serem lançadas nos corpos de água locais. As águas advindas dos bairros pertencentes à bacia do córrego Vaca Brava são coletadas e tratadas na ETE Goiânia, também denominada “Dr. Hélio Seixo de Britto”. O processo realizado por essa ETE é de tratamento primário quimicamente assistido, com eficiência de remoção média de DBO de 60%. Uma vez que, conforme von Sperling (1996), a concentração de DBO média no efluente bruto doméstico pode ser considerada como 300 mg/L, o tratamento realizado deve levar ao lançamento de águas tratadas com concentração de DBO de 120mg/L.

Outro parâmetro necessário para o cálculo da vazão de diluição é a concentração permitida do manancial, conforme enquadramento do curso de água ( $C_{perm\_man}$ ). Da mesma forma que apresentado no indicador anterior, a legislação goiana de meio ambiente remete a definição desse parâmetro à legislação federal, notadamente a Resolução CONAMA nº 020/1986, revogada pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Uma vez que o corpo de água em questão não teve seu enquadramento ainda estabelecido, as duas resoluções CONAMA supracitadas dispõem que deve ser considerado como classe 2, correspondendo o limite para o parâmetro DBO a 5mg/L ( $C_{perm\_man}$ ).

A concentração natural de DBO no manancial ( $C_{man\_nat}$ ) pode ser considerada como 1,0mg/L, conforme von Sperling (1996).

No que se refere à vazão de lançamento do efluente, pode ser considerada como 80% da vazão de captação, podendo a vazão de diluição ser calculada a seguir:

$$Q_{efl.} = 80\% \text{ da vazão captada} = 0,80 \times 0,0152 \text{ m}^3/\text{s} = 0,0122 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$Q_{dil} = Q_{efl.} \frac{(C_{efl.} - C_{perm\_man})}{(C_{perm\_man} - C_{man\_nat})} = 0,0122 \frac{(120 - 5)}{(5 - 1)} = 0,3507 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Essa vazão deve ser verificada em função da disponibilidade hídrica local, sendo considerado como curso de água receptor o córrego Vaca Brava. Nessa situação, a vazão de referência já foi apresentada anteriormente e corresponde à  $Q_{95}$  tendo o valor de 0,039m<sup>3</sup>/s. Para a obtenção da  $Q_{rem\_min}$ , deve ser deduzida a demanda máxima de captação prevista. Sendo assim, tem-se:

$$Q_{rem\_min} = 0,0390 - 0,0152 = 0,0238 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Comparando a vazão de diluição necessária ( $Q_{dil} = 0,3507\text{m}^3/\text{s}$ ) com a vazão remanescente mínima prevista ( $Q_{rem\_min} = 0,0238\text{m}^3/\text{s}$ ), pode ser verificado ser a primeira muito superior à segunda. Com isso, conclui-se pela indisponibilidade hídrica para a diluição dos efluentes previstos com a manutenção da classe de enquadramento do corpo de água receptor e o indicador assume seu valor mínimo:

$$I_{qL2} = 0$$

No presente estudo de caso, a interferência do lançamento do efluente do sistema de saneamento foi verificada apenas por este indicador, em função da ausência de informações para o cálculo do  $I_{qL1}$ . Apesar da inexistência de parâmetros legais específicos definidos para o Estado de Goiás, esse indicador foi relevante para a conclusão pela indisponibilidade hídrica para a diluição dos efluentes tratados. Sua análise permitiu verificar, ainda, que, mesmo com sistemas de tratamento de efluentes, há a necessidade de corpos de água com vazões muito superiores à de lançamento para que sua diluição seja feita de forma a manter o corpo de água na classe 2 de enquadramento. A expressão proposta para o indicador  $I_{qL2}$  foi, então, verificada como eficiente para analisar os aspectos referentes à influência do lançamento de efluentes no corpo de água receptor.

#### Indicadores $I_{qL3}$ e $I_{qL4}$

Estes indicadores tratam da verificação dos parâmetros de qualidade das águas pluviais em meio urbano. A análise dos dados de projeto e de outros buscados sobre a região não permitiu a estimativa das concentrações de poluentes em função do tipo de urbanização existente. Isso decorre do fato do projeto não ter levado em consideração esse aspecto e das poucas informações disponíveis de qualidade das águas pluviais no País não tratarem de monitoramentos contínuos que possibilitariam relacionar o tipo de ocupação urbana com a qualidade das águas pluviais. Com isso, não foi possível realizar o cálculo desses indicadores com a formulação proposta.

No entanto, uma vez que a revisão bibliográfica realizada para esta pesquisa mostrou concentrações de poluentes consideráveis nas águas de escoamento pluvial, há a necessidade da verificação desse aspecto no processo de avaliação de empreendimentos. Para isso, há a necessidade de realização de monitoramentos contínuos em bacias hidrográficas urbanas no Brasil e de pesquisas especificamente relacionadas à sua modelagem.

Para o cálculo dos indicadores no momento presente, a ausência de informações adequadas leva à necessidade da modificação de seus parâmetros de cálculo e sua reformulação.

#### 7.5.2.4- Parâmetros utilizados e dificuldades nos cálculos dos indicadores

Para facilitar a visualização das informações utilizadas nos cálculos dos indicadores e das dificuldades encontradas, foi elaborada a Tabela 7.18, apresentando o resumo dessas observações.

**Tabela 7.18 – Parâmetros utilizados e principais dificuldades nos cálculos dos indicadores**

Indicador	Principais Parâmetros Utilizados	Dificuldades
$I_{qt1}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área total de projeto;</li> <li>- Precipitação média anual;</li> <li>- Volume médio de infiltração na situação natural;</li> <li>- Volume médio de infiltração na situação projetada.</li> </ul>	Dificuldade na obtenção da estimativa da infiltração média anual.
$I_{qt2}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidade populacional;</li> <li>- Consumo médio diário per capita;</li> <li>- Demandas previstas para usos consuntivos;</li> <li>- Vazão de permanência <math>Q_{95}</math>;</li> <li>- Percentual máximo <i>outorgável</i> da <math>Q_{95}</math>;</li> <li>- Vazão mínima remanescente conforme legislação local.</li> </ul>	-
$I_{qt3}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume médio anual de demandas na área;</li> <li>- Volume médio anual previsto com o uso de águas pluviais recuperadas.</li> </ul>	Dificuldade de estimativa do volume médio diário a ser utilizado advindo de águas pluviais.
$I_{r1}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão de pico a jusante para o período de retorno de projeto;</li> <li>- Vazão de pico a jusante, estando a bacia em sua situação natural;</li> <li>- Coeficiente permitido de aumento da vazão de pico natural.</li> </ul>	Subjetividade na definição do coeficiente permitido de aumento da vazão de pico.
$I_{r2}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão de pico a jusante para o período de retorno de projeto;</li> <li>- Vazão que poderia causar inundações em área a jusante, para o mesmo período de retorno de projeto.</li> </ul>	Dificuldade da obtenção do valor da vazão de pico que inundaria a jusante em função da falta de informações.
$I_{r3}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Período de retorno das estruturas hidráulicas projetadas para a área de projeto;</li> <li>- Período de retorno desejável para proteção quanto a inundações na área de projeto.</li> </ul>	Uma vez que não havia definição do período de retorno desejável em Plano Diretor de Drenagem ou Urbanização, pode ocorrer subjetividade na definição do analista em função da referência bibliográfica escolhida.
$I_{qL1}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DBO do curso de água receptor, na situação natural;</li> <li>- DBO média estimada do lançamento de águas de esgotamento sanitário;</li> <li>- DBO máxima possível de ser autorizada no efluente da área de projeto.</li> </ul>	<p>Ausência de definição legal no Estado de Goiás quanto à concentração limite de lançamento do DBO;</p> <p>Ausência no Estado de atualização da referência quanto à Resolução CONAMA nº 020/1986 já revogada.</p>

**Tabela 7.18 (CONT) – Parâmetros utilizados e principais dificuldades nos cálculos dos indicadores**

Indicador	Principais Parâmetros Utilizados	Dificuldades
I <sub>qL2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão de diluição necessária do curso de água para mantê-lo em sua classe de enquadramento;</li> <li>- DBO média estimada do lançamento de águas de esgotamento sanitário;</li> <li>- DBO do curso de água receptor, na situação natural;</li> <li>- DBO limite no manancial segundo sua classe de enquadramento;</li> <li>- Vazão do efluente a ser lançado;</li> <li>- Vazão mínima remanescente, conforme legislação local.</li> </ul>	Ausência no Estado de atualização da referência quanto à Resolução CONAMA n° 020/1986 já revogada.
I <sub>qL3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentrações de poluentes presentes nas águas pluviais;</li> <li>- Vazão de cheia para o período de retorno de projeto;</li> </ul>	Monitoramento de qualidade de águas pluviais insuficiente para realizar estimativa na fase de projeto;
I <sub>qL4</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão de referência no período chuvoso dos cursos de água receptores.</li> </ul>	Ausência no Estado de atualização da referência quanto à Resolução CONAMA n° 020/1986 já revogada.

### 7.5.3- Análise multicritério

Depois de calculados os valores para cada um dos indicadores foram aplicados os métodos TOPSIS e Electre TRI de análise multicritério.

No entanto, ainda antes da aplicação desses métodos, a metodologia proposta previu a verificação dos valores calculados para os indicadores quanto aos índices de veto propostos. A Tabela 7.19 apresenta os valores calculados para cada um dos indicadores e aqueles cujos valores estão abaixo dos seus respectivos índices de veto são apresentados em negrito.

**Tabela 7.19 – Resultados dos indicadores e análise quanto aos índices de veto**

Indicador	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Índice de Veto
I <sub>qt1</sub>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	0,50
I <sub>qt2</sub>	1,00	1,00	1,00	0,80
I <sub>qt3</sub>	0,50	0,53	0,53	Não Possui
I <sub>r1</sub>	0,24	0,98	0,95	Não Possui
I <sub>r2</sub>	<b>0,86</b>	1,00	1,00	1,00
I <sub>r3</sub>	1,00	1,00	1,00	1,00
I <sub>qL1</sub>	Não Calculado	Não Calculado	Não Calculado	0,50
I <sub>qL2</sub>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,50
I <sub>qL3</sub>	Não Calculado	Não Calculado	Não Calculado	0,50
I <sub>qL4</sub>	Não Calculado	Não Calculado	Não Calculado	0,50

A análise das informações constantes na Tabela 7.19 mostra que, para todos os cenários de projeto, há indicadores cujos valores calculados são inferiores ao Índice de Veto. Com esse resultado, verifica-se, ainda antes da aplicação dos métodos de análise multicritério a

necessidade de alteração em algum aspecto de cada um dos projetos para que possa ter sua implantação considerada como aceitável.

Os próximos itens apresentarão os resultados da aplicação dos métodos multicritério, assim como as análises de sensibilidade e robustez.

### 7.5.3.1- TOPSIS

Para a aplicação desse método foi utilizado o coeficiente  $p$  igual a 2 e os pesos aplicados corresponderam à média daqueles arbitrados por todos os especialistas. O resultado da sua aplicação é obtido por meio do valor da Taxa de Similitude ( $D_p(a_i)$ ) que é apresentada na Tabela 7.20 para os três cenários de projeto.

**Tabela 7.20 – Resultado da Taxa de Similitude para os cenários avaliados**

Taxa Similitude/Cenário	Cenário I	Cenário II	Cenário III
$D_p(a_i)$	0,52	0,61	0,61

Com base nos valores apresentados na Tabela 7.20 pode ser verificado que os três cenários avaliados tiveram seus valores superiores ao índice considerado para a alternativa fictícia de 0,50, fazendo com que as três situações sejam consideradas aceitáveis por esse resultado básico. Entretanto, como nos três casos há indicadores com valores inferiores ao índice de veto, deve ser providenciada alteração no projeto no que se refere a esses indicadores, que são: no caso do Cenário I,  $I_{qt1}$ ,  $I_{r2}$  e  $I_{qL2}$ ; no caso dos Cenários II e III,  $I_{qt1}$  e  $I_{qL2}$ .

No caso do Cenário I, deveriam ser estudadas alternativas de aumento do volume médio de infiltração anual, por meio da redução das áreas impermeáveis ou da implantação de técnicas de drenagem que proporcionassem a infiltração das águas de escoamento pluvial para atendimento ao indicador  $I_{qt1}$ . Outra alternativa nesse caso seria a verificação da possibilidade de consideração, no cálculo do indicador  $I_{qt1}$ , de um volume de infiltração médio anual desejável inferior ao natural, em função da área já estar urbanizada e da dificuldade para infiltração de volume semelhante ao natural. Para atendimento ao indicador  $I_{r2}$  deveriam ser verificadas alternativas como a retenção de águas escoadas ou a sua infiltração, de forma a reduzir as vazões escoadas, conseqüentemente, reduzindo as inundações a jusante. No caso do indicador  $I_{qL2}$  poderia ser aumentada a eficiência da estação de tratamento de efluentes domiciliares ou o seu lançamento em corpos de água com maior disponibilidade hídrica.

Para os Cenários II e III as mesmas alternativas recomendadas para atendimento aos indicadores  $I_{qt1}$  e  $I_{qL2}$  poderiam ser estudadas.

Caso essa metodologia seja aplicada, ainda, para a comparação de alternativas de projeto, pode ser verificada uma superioridade dos Cenários II e III frente ao I. Quanto aos Cenários II e III, não pôde ser verificada a sobre-classificação de nenhum deles, em função de não terem sido observados valores diferentes para a Taxa de Similitude.

Posteriormente, foram realizadas análises de sensibilidade e robustez para verificação de influência no resultado final causada por possíveis variações nos valores dos parâmetros básicos.

O primeiro teste realizado foi por meio da análise de cada um dos Cenários em função das diferentes ponderações arbitradas pelos pesquisadores e pelos gestores de recursos hídricos. Os resultados são apresentados para comparação na Tabela 7.21.

**Tabela 7.21 – Resultado da Taxa de Similitude para as diferentes ponderações**

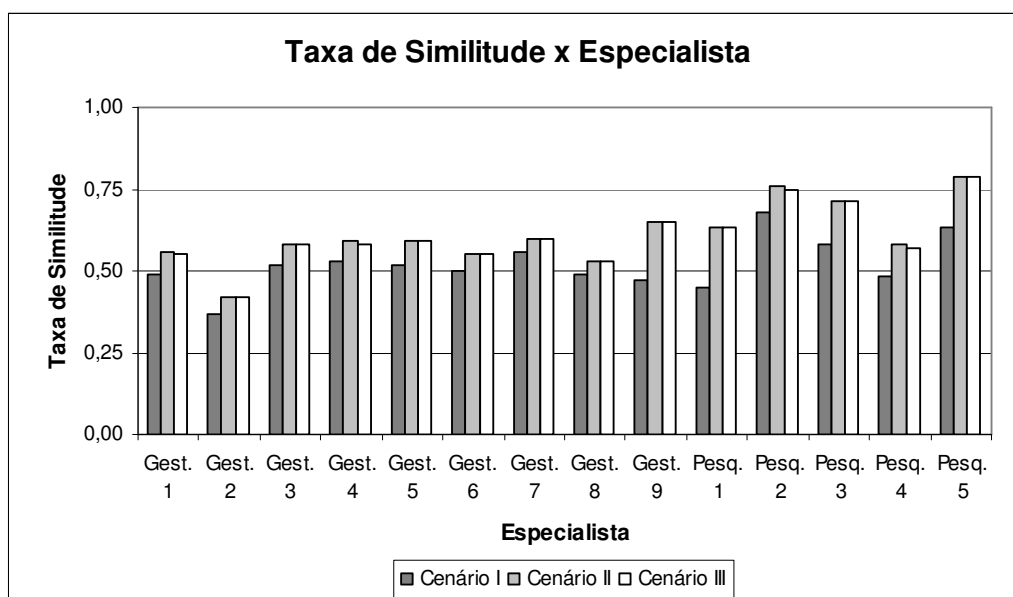
Taxa de Similitude por Ponderação/Cenário	Cenário I	Cenário II	Cenário III
$D_p(a_i)$ (pesquisadores)	0,57	0,70	0,70
$D_p(a_i)$ (gestores)	0,50	0,57	0,56
$D_p(a_i)$ (todos especialistas)	0,52	0,61	0,61

Os resultados apresentados na Tabela 7.21 mostram sensível aumento da Taxa de Similitude quando aplicada a ponderação arbitrada pelos pesquisadores. Esse fato foi verificado em função da menor importância dada por esses especialistas aos indicadores  $I_{qt1}$  e  $I_{qL2}$  em que os três cenários de projeto têm valores abaixo do índice de veto.

No entanto, a ponderação aplicada com a média dos pesos arbitrados por cada tipo de especialista não modificou a decisão final do analista quanto à aceitação de cada Cenário de projeto ou quanto à classificação entre eles.

Posteriormente, foi realizada a análise de cada alternativa de projeto com a ponderação arbitrada por cada um dos especialistas, sendo apresentados, na Figura 7.3, os resultados para cada um dos cenários avaliados.





**Figura 7.3** – Taxa de Similitude calculada com a ponderação de cada especialista

A análise das informações constantes na Figura 7.3 leva à observação de grande sensibilidade nos valores da Taxa de Similitude em função da ponderação arbitrada. No Cenário I, os valores variaram de 0,37 (gestor 2) a 0,68 (pesquisador 2) e nos Cenários II e III, a variação foi de 0,42 (gestor 2) a 0,79 (pesquisador 5).

Quanto à decisão tomada por cada especialista pode ser verificado que, no caso do Cenário I, 6 especialistas concluiriam pela sua consideração como inaceitável, mostrando incerteza na sua definição como aceitável pela média dos valores arbitrados por todos os especialistas. No caso dos cenários II e III, apenas o gestor 2 levou a resultado inferior ao valor considerado para a alternativa de referência, mostrando maior robustez em sua consideração como aceitável.

Outro teste realizado foi com o aumento dos pesos dos indicadores em que cada Cenário possuía valores inferiores ao índice de veto, de forma a verificar a variação que poderia modificar a decisão do analista. Esse aumento foi realizado na mesma proporção em que a soma dos pesos dos outros indicadores foi reduzida, mantendo a soma dos pesos em 100.

No caso do Cenário I, um aumento de 2,0% nos pesos dos indicadores  $I_{qt1}$  e  $I_{qL2}$  poderia modificar a decisão do analista, uma vez que o resultado obtido com a média dos pesos arbitrados era bem próximo do limite entre o aceitável e o inaceitável. Para os cenários II e III a mudança de decisão do analista ocorreria apenas com um aumento de 6% nos pesos desses dois indicadores ao mesmo tempo. Esse teste mostra que pequenas mudanças nos pesos dos

indicadores afetariam a decisão quanto à aceitação do Cenário I, mas não dos outros dois, reforçando a escolha do analista pelo II ou III.

Foi realizada, ainda, a análise por meio da supressão de cada um dos indicadores de forma individual, objetivando verificar possível influência no resultado final causada pela inexistência de informações ou caso estas não fossem adequadas ao cálculo de determinado indicador.

Como resultado dessa análise, foi verificado que a supressão de cada um dos indicadores altera o valor da Taxa de Similitude em até 13%, variável em função do peso do indicador e da diferença de seu valor em relação à própria taxa obtida anteriormente. Essa amplitude mostra sensibilidade dos valores obtidos em função dos indicadores utilizados na análise. No caso dos cenários II e III, a supressão de indicadores de forma individual não alterou a decisão do analista em nenhum caso. No entanto, para o Cenário I, a supressão dos indicadores  $I_{qt2}$ ,  $I_{r2}$  e  $I_{r3}$  faria com que a alternativa de projeto fosse considerada inaceitável, alterando a decisão do analista.

Sendo assim, com base nos resultados das análises de sensibilidade e robustez realizadas, pôde ser verificado que os cenários II e III são melhores que o I uma vez que, não importa a ponderação aplicada, os seus resultados são melhores. No entanto, na comparação entre os cenários II e III, não puderam ser observadas diferenças sensíveis nos valores obtidos para a Taxa de Similitude, fazendo com que o analista não possa definir de forma clara o melhor dentre eles. Para isso haveria a necessidade da inclusão de outros aspectos na análise.

Os cenários II e III podem ser considerados, de forma clara, como aceitáveis pois, em todos os testes realizados, pequenas mudanças nos parâmetros básicos não alterariam esse resultado. No entanto, para o Cenário I, pequenas modificações nos valores ou nos pesos dos indicadores modificariam a decisão do analista, o que não demonstra clareza na sua consideração como aceitável.

#### 7.5.3.2- Electre TRI

Para a análise por meio do Electre TRI, foram aplicados os limiares apresentados na proposição de metodologia, a saber: 0,05 para o limiar de indiferença, 0,20 para o limiar de preferência e 0,60 para o limiar de veto. Para o Nível de Corte ( $\lambda$ ) o valor adotado foi correspondente a 0,750.

Com esses parâmetros, foram calculados os índices de credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$  para os três cenários, sendo apresentados na Tabela 7.22 e pôde ser verificada a classificação de cada alternativa de projeto em relação à fictícia  $b$ .

**Tabela 7.22** – Resultado dos índices de credibilidade para os diferentes cenários

Ind de Credibilid./Cenário	Cenário I	Cenário II	Cenário III
$\sigma(a,b)$	0,194	0,307	0,307
$\sigma(b,a)$	0,086	0,007	0,009
<b>Resultado Final</b>	<b>a R b</b>	<b>a R b</b>	<b>a R b</b>

Com base nos valores calculados para os índices de credibilidade, os três cenários foram considerados incomparáveis em relação à alternativa fictícia ( $a R b$ ). A redução do nível de corte para valor inferior ao índice de credibilidade  $\sigma(a,b)$  poderia fazer com que determinado cenário sobre-classificasse a alternativa fictícia. Essa redução poderia ser feita até o valor correspondente a 0,50, em função do interesse do analista. No entanto, no presente caso, o maior índice de credibilidade correspondeu àquele referente aos cenários II e III, tendo o valor de 0,307, o que não permitiu a sobre-classificação dessas alternativas em relação à fictícia. Esse fato ocorre em função dos limiares de indiferença e preferência aplicados, o que fez com que não pudesse ser afirmada uma decisão com o nível de incerteza existente.

Seguindo a análise, foram realizados testes de sensibilidade e robustez com os parâmetros básicos, de forma a verificar os resultados obtidos. O primeiro teste foi por meio da análise de cada um dos cenários com as médias dos pesos arbitrados pelos pesquisadores e pelos gestores de recursos hídricos e os resultados dos Índices de Credibilidade obtidos são apresentados na Tabela 7.23.

**Tabela 7.23** – Resultado dos índices de credibilidade para as diferentes ponderações

Ponderação/Cenário	Cenário I		Cenário II		Cenário III	
	$\sigma(a,b)$	$\sigma(b,a)$	$\sigma(a,b)$	$\sigma(b,a)$	$\sigma(a,b)$	$\sigma(b,a)$
Pesquisadores	0,208	0,064	0,357	0,004	0,357	0,005
Gestores	0,186	0,100	0,283	0,010	0,283	0,012
Todos Especialistas	0,194	0,086	0,307	0,007	0,307	0,009
<b>Resultado Final</b>	<b>a R b</b>		<b>a R b</b>		<b>a R b</b>	

Os índices de credibilidade calculados para cada uma das diferentes ponderações mostraram diferenças sem, entretanto modificar a decisão do analista quanto ao entendimento de que cada um dos cenários avaliados é incomparável em relação à alternativa fictícia ( $a R b$ ).

Outra análise realizada foi com a aplicação da ponderação arbitrada por cada um dos especialistas, buscando verificar sua influência no resultado final. As figuras 7.4 a 7.6

apresentam os índices de credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$  para cada cenário com as ponderações aplicadas por cada especialista.

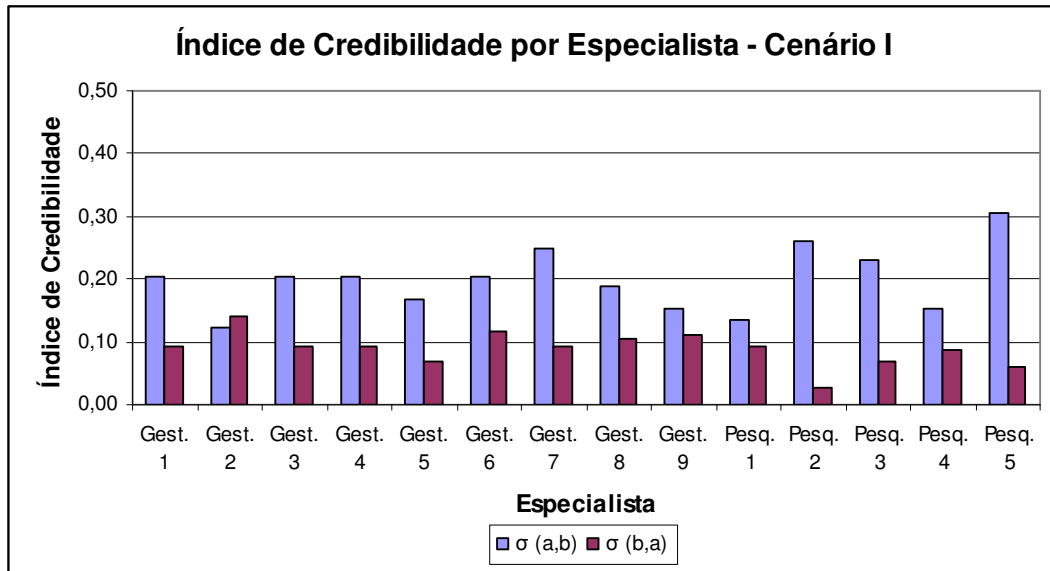


Figura 7.4 – Índices de credibilidade para o cenário I com a ponderação de cada especialista

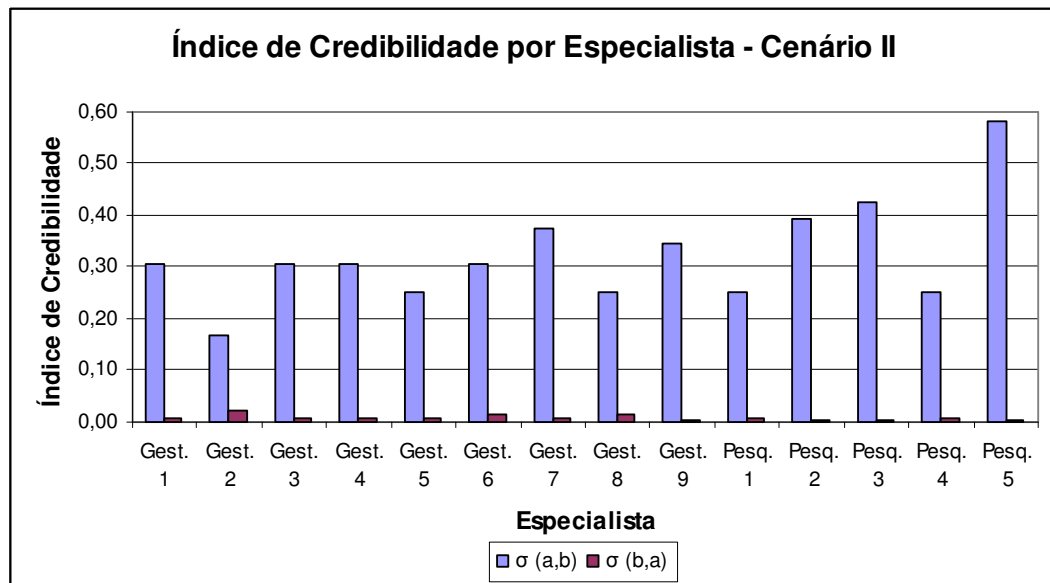
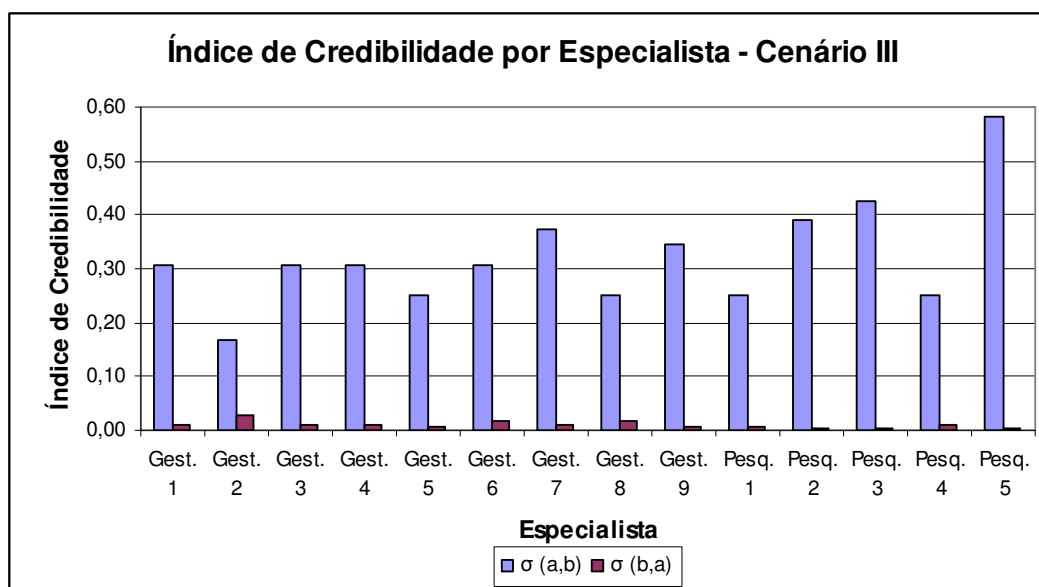


Figura 7.5 – Índices de credibilidade para o cenário II com a ponderação de cada especialista



**Figura 7.6** – Índices de credibilidade para o cenário III com a ponderação de cada especialista

A observação das figuras 7.4 a 7.6 levou à verificação de importante sensibilidade nos valores calculados para os Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  nos três Cenários. No entanto, com nenhuma das ponderações aplicadas esse Índice atingiu o Nível de Corte estabelecido de 0,750 e, sendo assim, nenhuma das ponderações de forma isolada poderia levar algum dos três Cenários a sobre-classificar a alternativa fictícia. De toda forma pode ser verificado que o Índice de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  foi sempre superior ao  $\sigma(b,a)$ , exceto no caso da ponderação arbitrada pelo gestor 2 na avaliação para o Cenário I. Esse fato leva a uma maior tendência à consideração dos Cenários de projeto como aceitáveis apesar dos valores baixos dos Índices de Credibilidade não permitirem essa afirmativa de forma clara.

Posteriormente, foram realizadas variações nos pesos dos indicadores aumentando a importância daqueles cujos valores eram superiores ao índice de veto e reduzindo, na mesma proporção o peso dos outros. Para o Cenário I, foi verificado que um aumento de cerca de 21% nos pesos dos indicadores  $I_{qt1}$  e  $I_{qL2}$  levaria a consideração da alternativa como inaceitável. No caso dos Cenários II e III, esse aumento teria que ser de 25% para a consideração das alternativas como inaceitáveis.

Da mesma forma foi realizado procedimento contrário, reduzindo gradualmente os pesos dos indicadores  $I_{qt1}$  e  $I_{qL2}$ , aumentando a importância dos outros na mesma proporção, de forma a verificar os valores que fariam com que cada Cenário fosse considerado aceitável. Para os três Cenários avaliados, em nenhum dos testes realizados foi possível classificar como aceitáveis em função dos valores obtidos para os Índices de Credibilidades  $\sigma(a,b)$ . O valor máximo

obtido para esses Índices foi de 0,523 para os Cenários II e III, com a redução dos pesos dos indicadores  $I_{qt1}$  e  $I_{qL2}$  em 10% correspondendo, cada um deles a 1,07% e 0,18% na análise global. Sendo assim, apenas com essa redução dos pesos e do Nível de Corte ( $\lambda$ ) para 0,500, esses Cenários poderiam ser considerados como aceitáveis.

Posteriormente, foram suprimidos os indicadores de forma individual, objetivando verificar sua influência na análise global. Nesse teste, os Índices de Credibilidade tiveram variação sensível com a supressão de cada indicador. No entanto, com o Nível de Corte ( $\lambda$ ) no valor correspondente a 0,750, nenhum Cenário avaliado sobre-classificou a alternativa fictícia. Essa sobre-classificação ocorreria apenas no caso de redução do  $\lambda$  para valor inferior a 0,550. Nessa situação, os Cenários II e III sobre-classificariam a alternativa fictícia com a supressão do indicador  $I_{qL2}$ .

Outro teste realizado foi com a variação dos limiares de indiferença e preferência. Primeiramente, esses limiares foram suprimidos de forma a considerar os indicadores como critérios verdadeiros. Como resultado desse teste, os Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  foram reduzidos, em função das diferenças entre os valores dos indicadores ganharem mais força com a supressão desses limiares e, sendo assim, os três Cenários continuaram sendo incomparáveis em relação à alternativa fictícia.

Seguindo esse teste, os mesmos limiares foram aumentados para verificação de sua influência no resultado global. O aumento do limiar de indiferença foi realizado de forma gradual, a cada 5%, até o valor de 20%. Esse teste não alterou os valores dos Índices de Credibilidade uma vez que não havia nenhum indicador cuja diferença no seu valor calculado está dentro do intervalo de 0,05 e 0,20 em relação à alternativa fictícia.

Quanto ao limiar de preferência, foi aumentado em intervalos de 10% até o valor correspondente a 50%. Com esse aumento, os Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  resultantes foram aumentados atingindo o valor de 0,540 para o Cenário I e 0,593 para os Cenários II e III. Nessa situação, caso o Nível de Corte ( $\lambda$ ) fosse reduzido para valor correspondente a 0,500, os três Cenários avaliados sobre-classificariam a alternativa fictícia.

A análise realizada por meio da aplicação do Electre TRI não foi conclusiva no sentido de determinar a aceitação ou não de cada um dos cenários. Todos eles foram considerados incomparáveis com a alternativa fictícia com os parâmetros básicos. Quanto aos testes realizados, foram relevantes para a verificação da sensibilidade dos resultados no que se

refere aos índices de credibilidade e mostraram uma maior tendência pela consideração dos cenários como aceitáveis.

#### **7.5.4- Comparação com os resultados de Castro (2002) e Moura (2004)**

O estudo de Castro (2002) propôs uma metodologia para a avaliação de alternativas de projeto de drenagem urbana por meio de indicadores sociais, ambientais, hidráulicos e sanitários. Esses indicadores foram agregados à época por meio dos métodos de análise multicritério Electre III e Programação de Compromisso. A metodologia proposta à época não visava a comparação com critérios legais determinantes de veto, mas sim a escolha da melhor alternativa de projeto dentre aquelas existentes e foi também aplicada a esse estudo de caso, objetivando a verificação dos indicadores.

Posteriormente, Moura (2004) agregou à metodologia um indicador de custos e aplicou, para a mesma área em estudo, com o método TOPSIS de análise multicritério, também objetivando a comparação de alternativas de projeto.

Apesar do objetivo principal da metodologia proposta no presente trabalho não ser a comparação de alternativas de projeto, ela também pode ser aplicada para este fim, se necessário. Sendo assim, dentre as análises realizadas, foram realizadas comparações entre os três cenários, de forma a verificar possível sobre-classificação entre eles. Essas análises foram feitas com a média dos pesos atribuídos pelos especialistas e com os outros parâmetros básicos aplicados anteriormente para os limiares e para o nível de corte.

Aplicando-se o Electre TRI, verificou-se que os Cenários II e III sobre-classificam o Cenário I. No entanto, os dois primeiros foram considerados indiferentes entre si. No caso do TOPSIS, a comparação foi realizada por meio das Taxas de Similitude apresentadas na Tabela 7.20, verificando terem os Cenários II e III valores iguais, mas podendo ser considerados melhores que o Cenário I. Sendo assim, a metodologia se mostrou eficaz para a definição dos Cenários II e III como melhor classificados que o Cenário I, mas indiferentes entre si.

Apesar de se tratarem de metodologias diferentes com critérios diferentes, foi possível a comparação dos resultados obtidos de forma a verificar se a escolha do cenário a ser implantado seria alterada em função da metodologia de análise e dos critérios de comparação. A Tabela 7.24 apresenta a comparação dos resultados obtidos com a aplicação das três metodologias.

**Tabela 7.24 – Comparação dos resultados obtidos pelas diferentes metodologias**

Estudos/ Ordenação de cenários	Castro (2002) Programação de Compromisso	Castro (2002) Electre III	Moura (2004) TOPSIS	Indicadores Atuais (TOPSIS)	Indicadores Atuais (Electre TRI)
1°	II- Com controle centralizado	*II- Com controle centralizado	III- Com controle nas parcelas	*II- Com controle centralizado	*II- Com controle centralizado
2°	III- Com controle nas parcelas	III- Com controle nas parcelas	II- Com controle centralizado	III- Com controle nas parcelas	III- Com controle nas parcelas
3°	I- Sistema clássico	I- Sistema clássico	I- Sistema clássico	I- Sistema clássico	I- Sistema clássico

\*Cenários II e III considerados indiferentes entre si.

A análise das informações constantes na Tabela 7.24 mostra que, para todas as metodologias aplicadas, o Cenário I foi pior classificado em relação aos outros dois. Quanto aos Cenários II e III, não pôde ser definido, de forma clara, qual seria o melhor a ser escolhido para implantação. A aplicação do Electre III com a metodologia de Castro (2002) e do TOPSIS com os indicadores atuais levou a resultados em que os cenários II e III foram considerados indiferentes entre si.

De forma geral, a aplicação dos métodos da família Electre tende a considerar os cenários II e III indiferentes entre si, em função da utilização dos pseudo-critérios. Esses critérios fizeram com que, pequenas diferenças entre os valores dos indicadores comparados, não permitissem a sobre-classificação de alternativas de projeto.

No caso do método TOPSIS e Programação de Compromisso, pode ocorrer a sobre-classificação de alternativas, mesmo com pequenas diferenças nos resultados das análises. No entanto, em alguns casos as diferenças nos valores calculados não são sensíveis ao ponto de definir, de forma clara, determinada alternativa como melhor classificada. Esse foi o caso do resultado das análises realizadas por Castro (2002) com o Programação de Compromisso e por Moura (2004) com o TOPSIS, em que a pequena diferença nos resultados obtidos para os Cenários II e III não permitiu a clara sobre-classificação entre elas.

Tratando-se de metodologias e indicadores diferentes, seria possível pensar na sua agregação para a obtenção de uma sobre-classificação mais clara entre os Cenários II e III. No entanto, os resultados apresentados na Tabela 7.24 mostram que haveria a necessidade de outros critérios para classificação entre esses Cenários.



## **7.6- Possibilidade de aplicação da metodologia proposta para outros fins**

A análise dos resultados obtidos permitiu a verificação da possibilidade de aplicação da metodologia com outras finalidades para comparação de alternativas de projeto. Apesar de não ter sido esse o objetivo principal da metodologia proposta, foi verificada sua possibilidade de aplicação para as seguintes comparações:

1. Comparar diferentes projetos de desenvolvimento para a mesma área, possibilitando a escolha do melhor a ser implantado, estando a área em seu estado natural ou já urbanizada e com previsão de melhorias;
2. Comparar projetos de desenvolvimento urbano para áreas diferentes quanto às suas interferências nos corpos de água objetivando auxiliar a tomada de decisão acerca daquele a ser implantado;
3. Comparar o desempenho de áreas urbanizadas quanto às suas interferências nos corpos de água;
4. Comparar as interferências atuais nos recursos hídricos em uma área já urbanizada e um projeto de melhoria do desenvolvimento urbano;
5. Avaliar, por meio de monitoramento, as interferências da urbanização nos corpos de água ao longo do tempo, em função daquelas previstas no projeto desenvolvido.

A primeira forma de comparação apresentada foi verificada por meio do segundo estudo de caso realizado. Nesse estudo, havia três cenários desenvolvidos para a mesma área urbanizada de Goiânia e a metodologia proposta foi verificada quanto à possibilidade de aplicação para escolha da melhor a ser implantada. Os resultados das análises realizadas mostraram ser a metodologia proposta adequada também para essa finalidade. Os resultados advindos da aplicação do método TOPSIS possibilitaram, de forma mais direta, a comparação de alternativas de projeto uma vez que puderam ser obtidos os valores da Taxa de Similitude para cada alternativa. A comparação pode ser realizada também com o Electre TRI exigindo, entretanto, a execução do método entre cada duas alternativas de projeto. Sendo assim, no caso de projetos com varias alternativas possíveis, a sua comparação por meio do Electre TRI pode se tornar exaustiva e com compreensão não tão clara uma vez que a transitividade na classificação de alternativas pode não ser direta em alguns dos casos.

Dentre as formas de comparação de projetos, foi verificada, ainda, a possibilidade de aplicação da metodologia proposta para a escolha de projetos diferentes para áreas distintas do mesmo empreendedor. Apesar de não ter sido executado estudo de caso específico com essa finalidade, a análise dos resultados obtidos permite comprovar essa possibilidade,

notadamente no segundo estudo de caso realizado. Nesse estudo, os três cenários desenvolvidos foram para a mesma área de projeto e puderam ser comparados para a escolha dos melhores. No entanto, poderia ocorrer situação em que os três cenários teriam sido desenvolvidos para áreas diferentes no mesmo município de Goiânia. Sendo assim, os critérios e parâmetros básicos advindos de legislação para o cálculo de cada um dos indicadores seriam os mesmos e apenas as áreas de projeto seriam diferentes.

Nesse caso, a comparação poderia ser realizada de forma efetiva com base na agregação dos indicadores pelos dois métodos multicritério separados. Inicialmente seria escolhida, por meio do TOPSIS, a melhor alternativa de projeto para cada área com problemas a serem resolvidos. Posteriormente, essas áreas poderiam ser comparadas entre si com base na aplicação do Electre TRI, de forma a escolher a melhor delas a ser implantada. Em função do número de áreas diferentes com projetos desenvolvidos, poderiam ser aplicados outros métodos da família Electre específicos para a ordenação de alternativas, como o Electre III, por exemplo.

A terceira forma de avaliação de possível execução com a metodologia proposta é por meio da comparação do desempenho de duas áreas já urbanizadas quanto às suas interferências realizadas nos corpos de água. Essa comparação poderia ser realizada para a verificação da área cujos problemas poderiam demandar solução premente, apoiando a decisão de uma prefeitura quanto à realização de estudos ou obras. Dentre os estudos de caso realizados, não foram executadas comparações específicas com essa finalidade, mas o cenário I desenvolvido no estudo de caso de Goiânia tem a característica de se tratar da urbanização futura com a rede de drenagem clássica já existente, bem como sistemas de abastecimento e de coleta e tratamento de efluentes domésticos já implantados. Nesse sentido, os cálculos realizados trataram da avaliação do desempenho dessa área e poderiam ser realizadas comparações com outras áreas no mesmo município, aplicando a metodologia proposta para suporte à decisão do gestor municipal sobre a área que necessitaria estudos prioritários.

Outra forma de aplicação possível da metodologia proposta é por meio da comparação das interferências atuais nos recursos hídricos em uma área já urbanizada e um projeto de melhoria do seu sistema urbano. O estudo de caso da área urbanizada de Goiânia com a comparação dos cenários II e III com o cenário I pode ser entendido como a verificação da possibilidade de melhoria do sistema de drenagem atual no que se refere às interferências nos corpos de água. Sendo assim, a realização desse estudo foi importante para a constatação da possibilidade de aplicação da metodologia proposta também para esse fim.

Por fim, dentre as possibilidades vislumbradas de aplicação da metodologia proposta, pensou-se na avaliação das interferências proporcionadas pela urbanização nos corpos de água em função daquelas previstas no projeto. Para isso foram buscadas informações de monitoramento de alguma área já urbanizada para comparação com aquelas de seu projeto, como um estudo de caso. Apesar de não ter sido encontradas informações adequadas para a realização específica de tal comparação, pôde ser constatada a possibilidade de sua aplicação para esse fim por meio dos estudos realizados. O estudo de caso realizado para o condomínio Vale dos Cristais utilizou apenas informações de projeto, mas no caso da área urbanizada de Goiânia, foram empregadas, ainda, informações de estruturas e sistemas existentes pelo fato da área já estar implantada. Sendo assim, o cálculo dos indicadores propostos pode ser realizado com base em informações de projeto ou de monitoramento, o que faz com que um projeto executado possa ser verificado após a sua implantação. Esse aspecto é relevante ao órgão gestor de recursos hídricos que pode determinar como condicionante, quando da autorização para determinado empreendimento, a implantação de sistemas de monitoramento para verificação dos parâmetros previstos no projeto.

Em síntese, a análise dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia em estudos de caso foi importante para a verificação e constatação da possibilidade de sua utilização para outros fins além daquele para o qual ela foi proposta, tornando sua aplicação mais abrangente e útil à sociedade.

### ***7.7- Considerações Finais***

No presente capítulo foram apresentados os resultados da análise crítica realizada dos indicadores e da metodologia propostos. Essa análise constou de várias etapas e objetivou a verificação de possíveis problemas devidos ao cálculo dos indicadores, à aplicação dos métodos multicritério e à sua utilização como suporte à decisão.

A primeira etapa foi realizada por meio da comparação da proposição do presente estudo com os sistemas aplicados atualmente, verificando os benefícios e avanços aportados à sua utilização pelos órgãos gestores de recursos hídricos.

Posteriormente, foi realizada consulta a especialistas de forma a verificar a sua percepção da metodologia proposta quanto aos aspectos não pertinentes dentre os indicadores propostos ou pontos ausentes. Os especialistas consultados foram pesquisadores de universidades e

representantes de órgãos gestores de recursos hídricos e também contribuíram para a definição da importância relativa dos indicadores na análise global.

Seguindo a análise crítica, foram realizados dois estudos de caso para verificar dificuldades no cálculo dos indicadores, no entendimento da metodologia e nos resultados obtidos com sua aplicação. Os estudos de caso foram relevantes para a conclusão pela necessidade de junção de alguns indicadores, revisão de expressões ou da fórmula de cálculo proposta. Foram verificados indicadores que não teriam possibilidade de serem calculados atualmente e outros que, em algumas situações, poderão apresentar redundância na análise de determinado aspecto. Essa análise foi relevante, ainda, para verificar a importância da ponderação dos pesos em relação a cada aspecto avaliado, o que poderá mostrar um maior interesse do decisor pela utilização de técnicas de drenagem prevendo sistemas de infiltração ou de retenção de águas pluviais.

O próximo capítulo objetiva efetuar a consolidação da metodologia proposta, considerando os ajustes verificados necessários nos indicadores e o fluxograma com as etapas de aplicação da metodologia.

## **8- CONSOLIDAÇÃO DOS INDICADORES E DA METODOLOGIA**

### ***8.1- Introdução***

A análise crítica realizada da metodologia proposta buscou verificá-la quanto à viabilidade de atendimento ao objetivo para o qual foi desenvolvida. Tratando da metodologia de forma geral, foi verificada como pertinente para a análise dos efeitos dos empreendimentos de desenvolvimento urbano nos corpos de água, com base na aplicação nos estudos de caso e na verificação de viabilidade de aplicação dos métodos de análise multicritério.

A comparação da metodologia com as sistemáticas de outorga atuais, a consulta aos especialistas e a sua aplicação por outros doutorandos reforçaram a hipótese quanto à possibilidade de aplicação para análise de processos de outorga ou para outras finalidades, mostrando-se mais abrangente e com a ideia de análise do empreendimento de uma forma global.

No que se refere aos indicadores, alguns foram verificados como factíveis de serem calculados e atenderam aos objetivos esperados com seus cálculos. No entanto, outros mostraram subjetividade em seus parâmetros, não apresentaram sensibilidade nos seus resultados ou mesmo não puderam ser calculados, necessitando melhorias em sua formulação.

O presente capítulo apresenta as alterações recomendadas aos indicadores e o fluxograma a ser utilizado para a aplicação da metodologia proposta, com as atividades a serem executadas e informações necessárias em cada etapa.

### ***8.2- Alterações propostas nos indicadores***

A verificação dos indicadores por meio da análise crítica realizada concluiu pela necessidade de melhoria na formulação de alguns deles, com modificações nas suas expressões de cálculo ou nos parâmetros básicos necessários. A seguir será apresentada a consolidação para o conjunto de indicadores, com as modificações recomendadas naqueles em que foi verificada como necessária.

#### **8.2.1- Indicadores para a avaliação das alterações na quantidade das águas**

Tratando das alterações proporcionadas pelo desenvolvimento urbano na quantidade das águas foram propostos, inicialmente, 3 indicadores:

- Comparação do volume de infiltração de projeto em relação à situação natural ou em relação à situação atual ( $I_{qt1}$ );
- Comparação das vazões mínimas escoadas com as demandas para usos consuntivos e vazão mínima remanescente ( $I_{qt2}$ );
- Verificação da previsão de reutilização ou recuperação de águas ( $I_{qt3}$ ).

Nos cálculos realizados para o indicador  $I_{qt1}$ , foi verificada a adequação da formulação proposta, podendo ser mantida sua aplicação. No entanto, foi observada subjetividade na definição quanto à baixa ou alta vulnerabilidade do aquífero à infiltração de águas pluviais. Uma vez que não há, ainda, no Brasil sistemas de monitoramento contínuo da qualidade das águas pluviais escoadas em meio urbano, não há como prever os seus impactos no aquífero. No entanto, com base na bibliografia consultada tratando do potencial de carreamento de poluentes pela infiltração e percolação das águas pluviais no solo, notadamente Baptista *et al.* (2005a), Dechesne (2002) e Azzout *et al.* (1994), foi verificado que essa poluição é retida nos primeiros centímetros da camada superficial do solo, não sendo observadas concentrações importantes de poluentes em profundidades superiores a 1,0m.

Nesse sentido, para dar objetividade ao cálculo do indicador, recomenda-se a verificação da distância entre a superfície de infiltração e o nível máximo do lençol subterrâneo. Caso essa distância seja igual ou superior a 1,0m, a vulnerabilidade do aquífero à infiltração das águas pluviais pode ser considerada baixa. Ao contrário, para valores inferiores a 1,0m, a vulnerabilidade poderia ser considerada alta. Esse valor padronizado de 1,0m poderia ser alterado no cálculo do indicador caso o analista tenha informações suficientes de qualidade das águas pluviais ou de sua percolação no solo para determinar a profundidade máxima atingida pelos seus poluentes.

Outro ajuste relevante no indicador  $I_{qt1}$  foi relacionado ao volume máximo possível de ser infiltrado. Na expressão proposta inicialmente, o indicador assumiria o valor correspondente a 0,5 quando o volume infiltrado previsto fosse igual ao volume médio anual precipitado na área. No entanto, pôde ser observado pelos estudos consultados, que este volume não seria o infiltrado na situação natural, conforme pode ser visto na Figura 3.5 que mostra que, mesmo para áreas bastante urbanizadas, é mantido um processo de evapotranspiração de cerca de 30% do volume precipitado. Sendo assim, nessa situação, o volume máximo possível de ser infiltrado deve corresponder a cerca de 70% do volume precipitado na área. Com isso, propõe-se a consideração do valor de 70%  $V_{prec\_med}$  como limite de infiltração máxima

possível, em que o indicador assumiria o valor correspondente a 0,5, alterando sua expressão de cálculo no caso de situações com alta vulnerabilidade do aquífero à infiltração do volume precipitado. Caso o analista possua informações que levem à estimativa da evapotranspiração na área após a urbanização, a expressão de cálculo pode ser alterada aplicando-se como volume máximo possível de ser infiltrado o correspondente aos 100% do volume precipitado subtraindo-se a evapotranspiração.

Ainda quanto ao indicador  $I_{qt1}$  foi observada dificuldade na estimativa dos volumes médios de infiltração anuais de projeto ou naturais. Sendo assim, o cálculo do indicador pode ser simplificado quando for constatada homogeneidade entre as taxas médias de infiltração das áreas naturais e de projeto, em função da tipologia dos solos e das cargas hidráulicas. Nesse caso, nas expressões do indicador, os termos indicados por volumes podem ser substituídos por áreas permeáveis.

No que se refere ao indicador  $I_{qt2}$ , foi concluído como eficiente para analisar o aspecto para o qual foi desenvolvido e seus parâmetros básicos foram factíveis de serem calculados, não sendo verificada necessidade de alteração em sua proposição.

Quanto ao terceiro indicador proposto, referente à previsão de reutilização ou recuperação de águas, os cálculos realizados para o segundo estudo de caso não demonstraram sensibilidade nos resultados. Uma vez que a maior parte dos volumes previstos para reutilização de águas pluviais corresponde a percentuais baixos do volume total demandado para utilização nas áreas, pode ser pensada uma maior sensibilidade para o indicador com esses valores. Sendo assim, propõe-se modificação na sua expressão de cálculo, conforme apresentado a seguir:

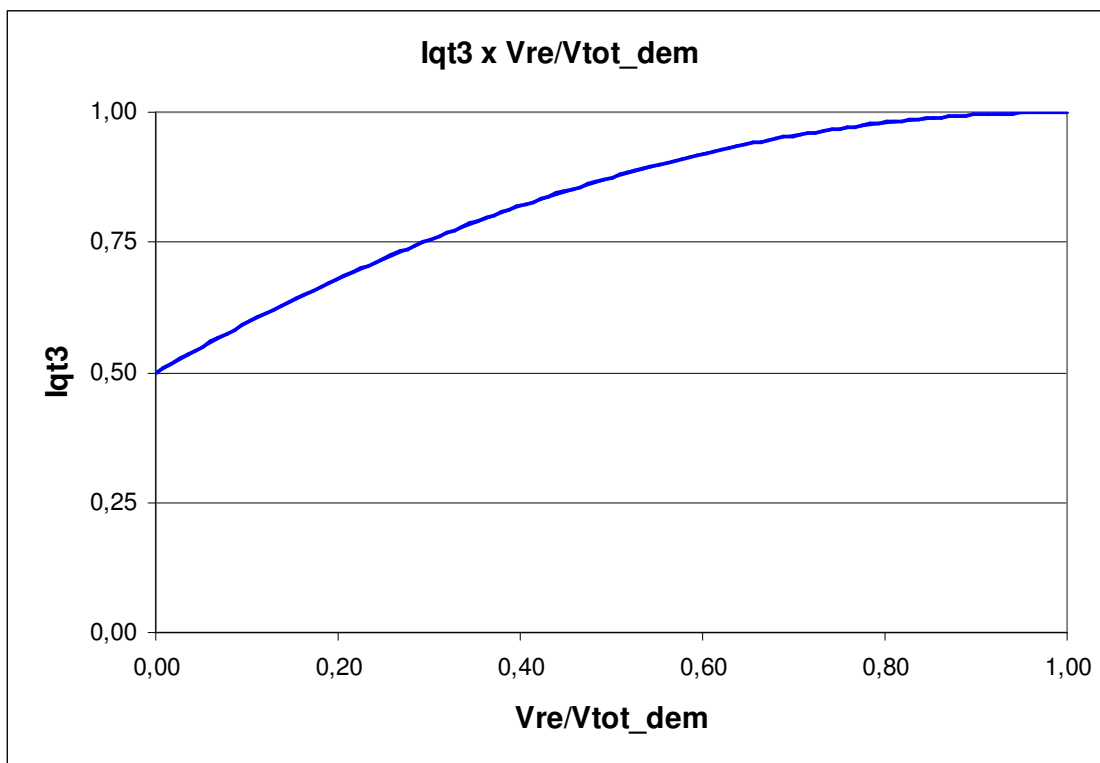
$$I_{qt3} = -0,50 \cdot \left( \frac{V_{re}}{V_{tot\_dem}} \right)^2 + \left( \frac{V_{re}}{V_{tot\_dem}} \right) + 0,50$$

Em que os parâmetros básicos seriam mantidos os mesmos, ou seja:

$V_{re}$  = Volume médio anual previsto de reutilização ou recuperação de águas na área em projeto de desenvolvimento urbano;

$V_{tot\_dem}$  = Volume médio anual previsto de demanda de água para os usos múltiplos previstos na área de desenvolvimento urbano.

Com essa nova formulação, o indicador mantém seus valores variáveis de 0,50 a 1,00 e a idéia de aplicação como bonificação, conforme apresentado na Figura 8.1.



**Figura 8.1** – Valores previstos para o indicador  $I_{qt3}$  em função da relação  $V_{re}/V_{tot\_dem}$

A nova formulação foi aplicada para o segundo estudo de caso, referente à área urbanizada de Goiânia, para verificar as diferenças nos resultados, que são apresentados na Tabela 8.1.

**Tabela 8.1** – Indicador  $I_{qt3}$  calculado com a proposta inicial e com a formulação consolidada

$I_{qt3}$ /Cenário	Cenário I	Cenário II	Cenário III
Proposta Inicial	0,50	0,53	0,53
Consolidação	0,50	0,56	0,56

Os resultados apresentados na Tabela 8.1 mostram maiores diferenças entre os valores obtidos para os Cenários II e III em relação ao Cenário I. A formulação proposta não foi suficiente para diferenciar os resultados obtidos para os Cenários II e III em função de serem muito próximos os valores calculados para os parâmetros básicos. Entretanto, foi possível verificar que a nova formulação mostra maior sensibilidade para os valores mais baixos da relação entre o volume previsto de recuperação ou reutilização de águas e o volume total de demandas da área. Uma vez que na maior parte dos casos a relação entre os volumes de recuperação e de demandas da área terá valores baixos, considera-se mais adequada a formulação proposta para a consolidação, com maior sensibilidade nesses casos.



Os estudos de caso foram relevantes para verificar que a previsão de técnicas de drenagem que incluam sistemas de infiltração terão resultados melhores para o indicador  $I_{qt1}$ , ao contrário de técnicas com a utilização de sistemas de retenção, que terão bons valores para o indicador  $I_{qt3}$ . Esse aspecto mostra a importância da aplicação dos dois indicadores e do fato da boa definição dos pesos a serem aplicados na análise global, dever refletir o maior interesse do decisor por determinado aspecto.

### **8.2.2- Indicadores para a avaliação das alterações de regime existente nos corpos de água**

Para a análise das alterações proporcionadas pela urbanização no regime existente nos corpos de água, os seguintes indicadores foram propostos:

- Comparação da vazão de pico proporcionada pela área urbanizada com a situação natural ou desejável ( $I_{r1}$ );
- Comparação da vazão de pico com a que cause inundação a jusante ( $I_{r2}$ );
- Verificação do período de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto ( $I_{r3}$ ).

Conforme verificado pelos estudos de caso realizados, podem ocorrer casos em que os parâmetros básicos utilizados nos cálculos dos indicadores  $I_{r1}$  e  $I_{r2}$  serão os mesmos e que as análises serão semelhantes, ocasionando redundância na consideração de aspectos. Além disso, foi verificada subjetividade na definição de alguns valores básicos necessários aos seus cálculos. Sendo assim, na consolidação proposta, foi buscada a junção desses dois indicadores e maior objetividade no seu cálculo.

A proposta para a sua consolidação é a formação de um único indicador  $I_{r1}$ , para verificar, ao mesmo tempo, a vazão de pico da área de projeto em relação à vazão de que causaria inundação em área a jusante e à vazão de pico da área em sua situação natural. Com isso, sua formulação proposta é a que segue:

$$\text{Se } Q_{inund} > Q_{pico\_nat}$$

Essa situação deve ocorrer na maior parte dos casos, em que a vazão que pode causar inundações a jusante ( $Q_{inund}$ ) é superior à vazão de pico para o período de retorno de projeto com a bacia em sua situação natural ( $Q_{pico\_nat}$ ). Nessa situação, o indicador deve ser calculado da seguinte forma:

$$\text{Se } Q_{pico\_alt} = 0 ; I_{r1} = 0,5$$

Se  $Q_{pico\_alt} < Q_{pico\_nat}$  ; tem-se:  $I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_nat} - Q_{pico\_alt}}{2 \cdot Q_{pico\_nat}}$

Se  $Q_{pico\_alt} = Q_{pico\_nat}$  ; considera-se o valor máximo para o indicador,  $I_{r1} = 1,0$ .

Se  $Q_{pico\_nat} < Q_{pico\_alt} \leq Q_{inund}$  ; aplica-se:  $I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_alt} - Q_{pico\_nat}}{2 \cdot (Q_{inund} - Q_{pico\_nat})}$

Se  $Q_{inund} < Q_{pico\_alt} \leq Q_{inund} \cdot K_{erro}$  ; é mantido o valor igual a 0,50 para o indicador.

Se  $Q_{pico\_alt} > Q_{inund} \cdot K_{erro}$  ; o indicador assume o valor mínimo, ou seja,  $I_{r1} = 0$ .

Em que:

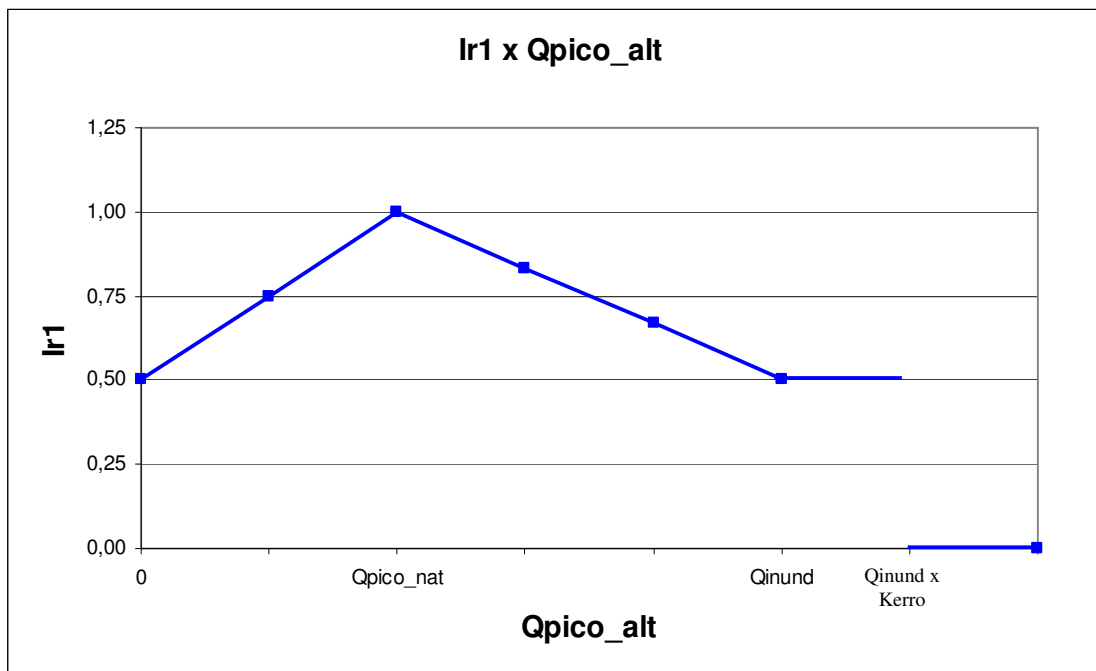
$Q_{inund}$  = Vazão máxima que pode causar inundações a jusante ( $m^3/s$ ).

$Q_{pico\_alt}$  = Vazão de pico para o período de retorno de projeto ( $m^3/s$ ).

$Q_{pico\_nat}$  = Vazão de pico para o período de retorno de projeto, estando a bacia em sua situação natural ( $m^3/s$ ).

$K_{erro}$  = Coeficiente referente ao erro nos cálculos das vazões de cheia, a ser estimado pelo analista. Caso não se tenha informações para sua definição, indica-se a aplicação de valor correspondente a 10%, ou seja,  $K_{erro} = 1,10$ .

Com essas expressões propostas, os valores possíveis para o indicador são aqueles apresentados na Figura 8.2.



**Figura 8.2** – Valores previstos para o indicador  $I_{r1}$  em função da vazão de pico a jusante da alternativa de projeto, caso  $Q_{inund} > Q_{pico\_nat}$

Conforme apresentado na Figura 8.2, o valor máximo para o indicador  $I_{r1}$  será obtido quando a vazão de pico prevista para o projeto em análise for igual à vazão de cheia na situação natural e, conseqüentemente, inferior à vazão que causaria inundação a jusante. Nessa situação, além de não causar inundação a jusante, o projeto não levaria a perturbação na vazão de pico. No caso das vazões inferiores à natural, o indicador apresentará valores no intervalo de 0,50 a 1,00, sendo considerada uma situação ainda positiva, em função da vazão de cheia ser inferior à de inundação, mas causar perturbação na vazão de cheia natural. Para vazões de cheia superiores à natural mas inferiores à de inundação o indicador também terá seus valores variáveis no intervalo de 0,50 a 1,00 sendo que nessa situação o valor correspondente a 0,50 será obtido quando a vazão de cheia da área urbanizada for igual à vazão que poderia causar inundação em área a jusante.

O coeficiente  $K_{erro}$  foi criado em função das incertezas nos estudos hidrológicos ao calcular as vazões de cheia. Uma vez que os valores propostos para o indicador são nulos no caso de vazões superiores à de inundação, é relevante um coeficiente de erro que permita considerar as incertezas nos cálculos das vazões de cheia pelo analista. O valor a ser utilizado para esse coeficiente depende do analista em função de sua experiência e sensibilidade no cálculo das vazões de cheia. No entanto, caso não haja informações para tal definição, sugere-se a aplicação de valor correspondente a 1,10, o que equivale a um erro médio de 10% no valor calculado para as vazões de cheia.

Se  $Q_{inund} \leq Q_{pico\_nat}$

A presente situação, em que a vazão de pico na situação natural é suficiente para causar inundação em área já urbanizada a jusante, não deveria ocorrer e por esse motivo não foi prevista quando da proposição inicial dos indicadores  $I_{r1}$  e  $I_{r2}$ . No entanto, o primeiro estudo de caso realizado, referente ao condomínio Vale dos Cristais, mostrou a possibilidade de ocorrência dessa situação, notadamente, em casos em que há ocupações irregulares em planícies de inundação de cursos de água. Nesse sentido, a proposta para dar objetividade aos cálculos do indicador trata da verificação dos empreendedores referentes à área de projeto e à área sujeita à inundação a jusante.

Caso o empreendedor referente ao projeto em análise não for o mesmo da área de jusante sujeita a inundações, sugere-se a consideração que o seu empreendimento não deve ser o responsável pelo incremento nas vazões de cheia naturais. Isso significa afirmar que o empreendedor da área de projeto não deve ser penalizado pelas faltas daquele de jusante, que permitiu a ocupação de áreas de inundação natural, correspondendo à situação do primeiro estudo de caso realizado. Nessa situação, a vazão de cheia limite a ser considerada para efeito de cálculo desse indicador deve ser a  $Q_{pico\_nat}$ .

O cálculo proposto para o indicador nessa situação é indicado conforme as seguintes expressões:

Se  $Q_{pico\_alt} = 0$ ;  $I_{r1} = 1,0$ .

Se  $Q_{pico\_alt} \leq Q_{pico\_nat}$ ; aplica-se  $I_{r1} = 1 - \frac{Q_{pico\_alt}}{2 \cdot Q_{pico\_nat}}$

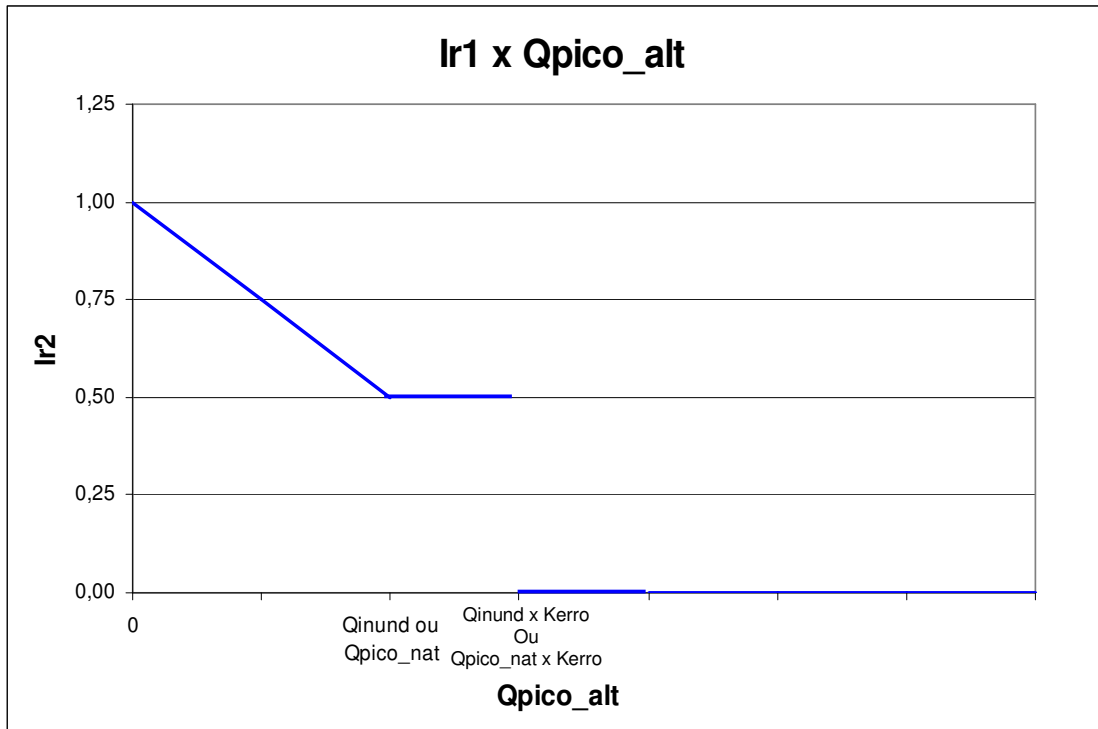
Se  $Q_{pico\_nat} < Q_{pico\_alt} \leq Q_{pico\_nat} \cdot K_{erro}$ ; é mantido o valor igual a 0,50 para o indicador.

Se  $Q_{pico\_alt} > Q_{pico\_nat} \cdot K_{erro}$ ; o indicador assume o valor mínimo, ou seja,  $I_{r1} = 0$ .

A segunda situação poderá ocorrer quando o empreendedor que deseja urbanizar determinada área for o mesmo da área de jusante sujeita a inundações. Esse caso ocorrerá quando houver o interesse em urbanizar uma área a montante de outra já sujeita a inundações freqüentes na mesma cidade. Nessa situação, o empreendedor referente às duas áreas deverá ser a própria prefeitura da cidade, podendo ser considerado o responsável por ter permitido a ocorrência de inundações freqüentes na área de jusante devido à implantação de sistema de drenagem ineficaz ou à ocupação irregular de áreas.

Nesse caso, o cálculo do indicador deve ser realizado com as mesmas expressões propostas para a primeira situação, considerando a vazão limite máxima correspondente àquela que poderia causar inundação a jusante  $Q_{inund}$ . Nesse sentido, nas expressões apresentadas acima deve ser substituído o termo  $Q_{pico\_nat}$  por  $Q_{inund}$ .

O gráfico constante na Figura 8.3 apresenta os resultados possíveis para o cálculo desse indicador, em função da vazão de pico estimada para a alternativa de projeto.



**Figura 8.3** – Valores previstos para o indicador  $I_1$  em função da vazão de pico a jusante da alternativa de projeto, caso  $Q_{inund} \leq Q_{pico\_nat}$

A Figura 8.3 mostra que, quanto menor a vazão de cheia estimada a jusante da área de projeto, maior será o valor do indicador. Isso foi previsto em função da possibilidade já existente de inundação em área a jusante com vazão correspondente à de cheia na situação natural. Em função do empreendedor da área de projeto ser ou não o mesmo da área a jusante sujeita a inundações, a vazão limite a ser considerada no cálculo do indicador será a de cheia da situação natural ou aquela que causaria inundação a jusante. Propõe-se, ainda, a aplicação de um coeficiente  $K_{erro}$  para tratar das incertezas no cálculo das vazões de cheia. Esse coeficiente deve ser definido pelo analista em função de seus dados básicos utilizados nos cálculos, mas pode ser aplicado correspondente a 10% caso não possua informações suficientes para calcular as incertezas.

O indicador  $I_{r3}$  foi definido e aplicado nos estudos de caso para a verificação do período de retorno previsto para inundações dentro da própria área de projeto. No que se refere à formulação proposta para seus cálculos foi verificada como eficiente e adequada para analisar o aspecto para o qual foi proposto e não são recomendadas modificações. O único aspecto que mostrou possibilidade de subjetividade em seus cálculos tratou da escolha do período de retorno a ser considerado desejável. Recomenda-se que esse período de retorno seja definido em ato normativo do órgão gestor de recursos hídricos ou esteja contido no Plano de Bacia Hidrográfica aprovado pelo respectivo comitê, de forma evitar a possibilidade de aplicação de valores diferentes para a mesma área por analistas diferentes em função da referência bibliográfica utilizada.

No entanto, caso não haja definição desse período de retorno desejável, é relevante que o analista seja criterioso quanto à referência utilizada e que o empreendedor apresente os critérios aplicados em sua definição, que normalmente é realizada por meio de análise econômica relacionando os danos causados pelas possíveis inundações aos custos de implantação do sistema de drenagem.

### **8.2.3- Indicadores para a avaliação das alterações na qualidade das águas**

A metodologia proposta no presente trabalho previu os seguintes indicadores para a avaliação das possíveis alterações da urbanização na qualidade das águas:

- Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário ( $I_{qL1}$ );
- Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de esgotamento sanitário ( $I_{qL2}$ );
- Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de escoamento pluvial ( $I_{qL3}$ );
- Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de escoamento pluvial ( $I_{qL4}$ ).

Os dois primeiros indicadores,  $I_{qL1}$  e  $I_{qL2}$  foram criados com a função de avaliar aspectos referentes à qualidade das águas de esgotamento sanitário. Após a análise crítica realizada da metodologia, não foi verificada necessidade de alteração nas expressões propostas uma vez que foram consideradas eficientes para analisar os aspectos para os quais foram

desenvolvidas. Foi constatado, ainda, que os especialistas consultados verificaram tratar-se de dois aspectos relevantes e distintos, apesar de ambos serem relacionados à qualidade das águas de esgotamento sanitário.

Vale ressaltar, entretanto, o coeficiente  $K_{erro\_DBO}$ , referente ao erro da estimativa de DBO no efluente a ser lançado. Esse coeficiente é adimensional e deve ser definido pelo analista dependendo da adequação e das incertezas nas informações existentes para a estimativa da DBO constante nas águas de esgotamento sanitário. Entretanto, caso o analista não possua informações adequadas para a sua definição, recomenda-se a aplicação de 1,10, o que corresponde a um erro médio de 10% nas estimativas de DBO, o que atende à maior parte dos casos de estimativas desse parâmetro.

Tratando dos indicadores  $I_{qL3}$  e  $I_{qL4}$ , os estudos de caso realizados foram suficientes para a verificação da impossibilidade da estimativa de seus parâmetros básicos no momento de projeto. Sendo assim, foi verificada a necessidade de modificação em sua formulação e nos parâmetros necessários.

Com base nas informações obtidas por meio da revisão bibliográfica realizada, foram verificados percentuais médios de remoção de poluentes por meio de tipos diferentes de técnicas de drenagem previstas. Nesse caso, em função da impossibilidade de estimativa, no momento de projeto, da qualidade das águas pluviais a serem lançadas nos corpos de água, propõe-se a junção desses dois indicadores e a avaliação desse aspecto por meio dos percentuais médios de remoção de poluentes pelas técnicas de drenagem previstas.

Conforme revisão bibliográfica constante nesse documento, foi estimada uma remoção média de cerca de 50% dos poluentes constantes nas águas pluviais pelas técnicas que prevêm seu armazenamento e detenção. No caso das técnicas que prevêm infiltração das águas pluviais, esse percentual de remoção corresponde a 100%, sendo retida toda a sua poluição nas camadas superficiais do solo. Ocorrem, ainda, técnicas que utilizam de forma conjunta o armazenamento e a infiltração das águas pluviais, com remoção média de poluentes correspondendo a cerca de 70%. Por fim, os sistemas clássicos de drenagem, correspondentes às redes e galerias transportam, diretamente, as águas pluviais para seu ponto de lançamento nos corpos de água superficiais, não proporcionando tratamento algum dos poluentes. Os percentuais de remoção de poluentes apresentados acima são indicativos e podem ser variados caso o analista possua informações mais precisas sobre a remoção estimada para o sistema a ser implantado.

Com base nessas informações, a proposta para esse novo indicador  $I_{qL5}$  é o seu cálculo por meio da seguinte expressão:

$$I_{qL5} = \frac{(A_{\text{armaz}} \times 0,50) + (A_{\text{armaz+infiltr}} \times 0,70) + (A_{\text{inf}} \times 1,00)}{A_{\text{Total}}}$$

Em que:

$A_{\text{armaz}}$  = Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm o armazenamento/detenção das águas pluviais (ha);

$A_{\text{armaz+infiltr}}$  = Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm a atuação conjunta da detenção e infiltração das águas pluviais (ha);

$A_{\text{inf}}$  = Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm a infiltração das águas pluviais (ha);

$A_{\text{Total}}$  = Área total do projeto (ha).

Para exemplificar a aplicação da expressão acima, pode ser realizado o cálculo do indicador para o primeiro estudo de caso, referente ao condomínio Vale dos Cristais. Esse condomínio tem área de projeto total correspondente a 587ha, sendo 110ha drenados para uma bacia de detenção. No restante da área foram previstas técnicas que levam à utilização conjunta de armazenamento e infiltração como bacias de detenção nos lotes, valetas e trincheiras de detenção e infiltração, faixas verdes circundando o sistema de drenagem e diques de detenção temporária junto aos pontos de deságüe nos corpos de água. Com base nessas informações, o indicador pode ser calculado da seguinte forma:

$$I_{qL5} = \frac{(110 \times 0,50) + (477 \times 0,70) + (0 \times 1,00)}{587} = 0,66$$

Sendo assim, pôde ser verificada a possibilidade de cálculo do indicador, uma vez que os parâmetros necessários puderam ser obtidos por meio da análise do projeto. O resultado obtido significa que as técnicas de drenagem previstas devem levar a 66% de remoção média de poluentes constantes nas águas pluviais. Apesar desse valor não demonstrar, por si só, a manutenção de boa qualidade nos corpos de água receptores é o principal parâmetro referente à qualidade das águas pluviais possível de prever no momento de projeto.



Nesse sentido, em função dos resultados desses cálculos não levarem de forma direta à qualidade dos corpos de água receptores, não é recomendada a aplicação de índice de veto para esse indicador com a expressão atual.

Para o futuro, esse indicador abre perspectivas para a realização de novos estudos no que se refere à qualidade das águas pluviais, podendo ser imaginadas duas alternativas para a melhoria na avaliação desse aspecto. A primeira trata do refinamento dos cálculos por meio de consideração de percentuais de remoção de poluentes por cada técnica compensatória de drenagem. Com isso, o percentual referente às técnicas de armazenamento e retenção poderia ser diferenciado em função da técnica utilizada tratar de bacias nos lotes ou bacias centralizadas. O mesmo procedimento poderia ocorrer com as técnicas de armazenamento e infiltração, determinando percentuais diversos para valas, valetas, trincheiras e pavimentos porosos.

Posteriormente, a segunda possibilidade de melhoria vislumbrada trata da aplicação das fórmulas apresentadas na proposição inicial dos indicadores  $I_{qL3}$  e  $I_{qL4}$ , assim que fosse possível modelar a qualidade das águas pluviais escoadas em função do tipo de urbanização prevista.

As duas possibilidades de melhoria nos cálculos desse indicador devem ser precedidas, entretanto, da implantação de sistemas de monitoramento da qualidade das águas pluviais e de estudos para a modelagem de sua qualidade em função da bacia hidrográfica, dos tipos de urbanização e da técnica de drenagem aplicada.

#### **8.2.4- Resumo dos indicadores consolidados**

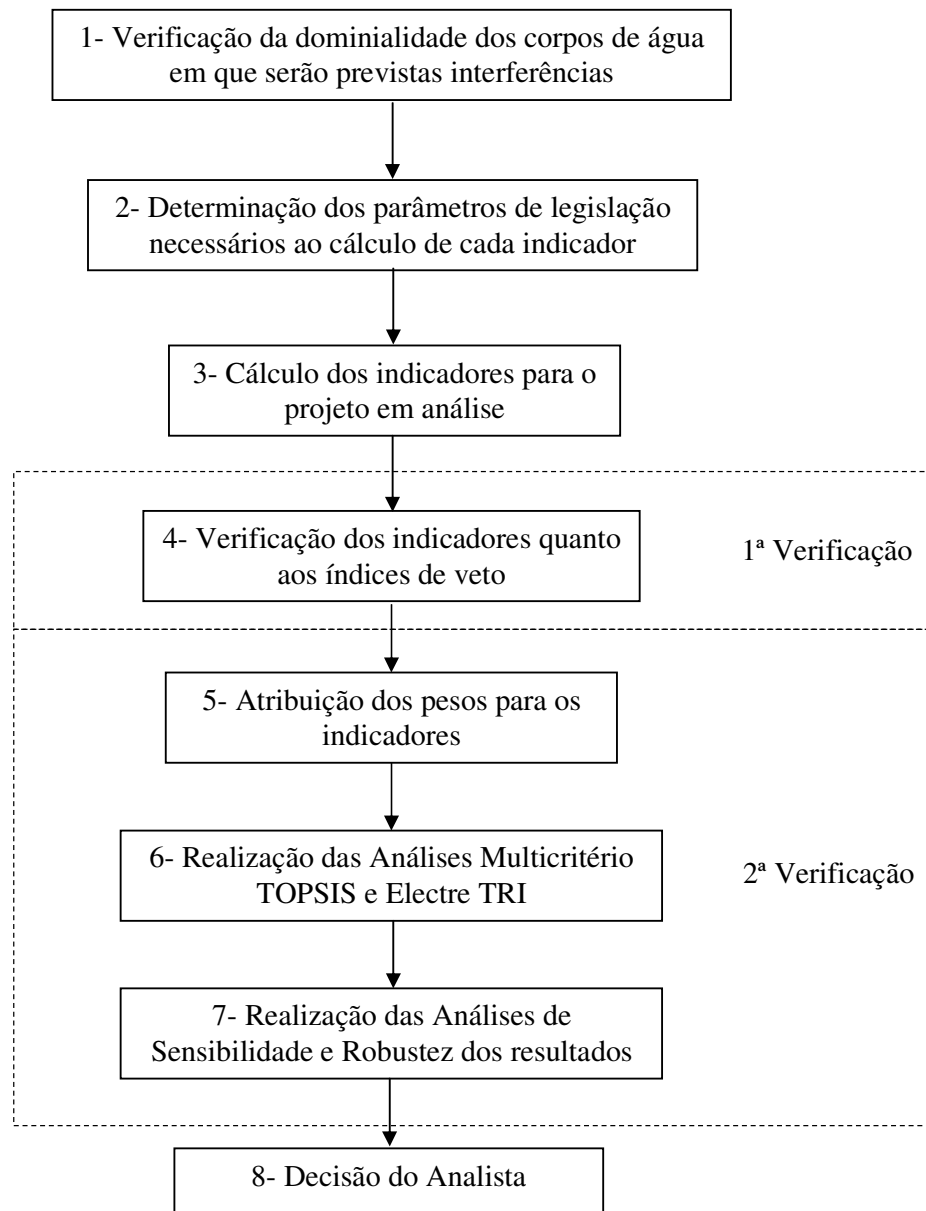
A análise crítica realizada foi relevante para a verificação das necessidades de ajustes nos indicadores propostos. Os itens 8.2.1 a 8.2.3 apresentaram os ajustes realizados nos indicadores propostos. A Tabela 8.2 apresenta o resumo dos indicadores consolidados, assim como os ajustes realizados em cada um deles.

**Tabela 8.2 – Indicadores consolidados e ajustes realizados**

<b>Indicador</b>	<b>Nome</b>	<b>Ajuste realizado</b>
I <sub>qt1</sub>	Comparação do volume de infiltração de projeto em relação à situação natural ou em relação à situação atual	Alterações nos parâmetros para dar mais objetividade
I <sub>qt2</sub>	Comparação das vazões mínimas escoadas com as demandas para usos consuntivos e vazão mínima remanescente	-
I <sub>qt3</sub>	Verificação da previsão de reutilização ou recuperação de águas	Melhoria na sensibilidade dos resultados
I <sub>r1</sub>	Comparação da vazão de pico proporcionada pela área urbanizada com a situação natural e com a que cause inundação a jusante	Junção dos indicadores I <sub>r1</sub> e I <sub>r2</sub>
I <sub>r3</sub>	Verificação do período de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto	-
I <sub>qL1</sub>	Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário	-
I <sub>qL2</sub>	Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de esgotamento sanitário	-
I <sub>qL5</sub>	Avaliação do percentual médio de remoção de poluentes pelo sistema de drenagem	Exclusão dos indicadores I <sub>qL3</sub> e I <sub>qL4</sub> e criação de novo

### **8.3- Fluxograma Proposto**

Conforme apresentado anteriormente, a metodologia proposta foi considerada pertinente e de aplicação viável. Para a sua utilização corrente, devem ser seguidas algumas etapas de trabalho com atividades previstas em cada uma delas. A Figura 8.4 apresenta o fluxograma proposto com essas etapas que serão detalhadas a seguir.



**Figura 8.4** – Fluxograma proposto para as etapas necessárias à aplicação da metodologia

### 8.3.1- Verificação da dominialidade dos corpos de água em que serão previstas interferências

Para a aplicação da metodologia proposta, a primeira etapa de trabalho trata da verificação da dominialidade das interferências previstas. Nesse momento, deve ser realizada análise do projeto, de forma geral, objetivando verificar todos os corpos de água em que aquela área urbanizada poderá causar alguma interferência.

Uma vez que os corpos de água subterrâneos têm dominialidade estadual pode-se prever, em todos os casos, a participação do órgão gestor de recursos hídricos referente ao Estado de localização da área a ser urbanizada.

No caso dos corpos de água superficiais poderão ser previstas interferências em corpos de domínio da União ou dos estados. A participação de dois órgãos gestores de recursos hídricos dependerá, principalmente, da previsão de interferências em corpos de água da União, que poderá incluir a ANA no processo decisório.

Uma vez que a metodologia propõe a realização da análise global do empreendimento quanto a todas as suas interferências previstas nos corpos de água recomenda-se que, no caso da participação de dois órgãos gestores distintos, a análise e a tomada de decisão sejam feitas de forma conjunta, devendo participar técnicos dos dois órgãos gestores.

### 8.3.2- Determinação dos parâmetros de legislação necessários ao cálculo de cada indicador

Com a verificação da dominialidade dos corpos de água em que serão previstas interferências, é possível a execução da segunda etapa de trabalho prevista, que depende da legislação de recursos hídricos em vigência. A ANA ou os órgãos gestores estaduais devem consultar a legislação referente à bacia hidrográfica de interferência e buscar os parâmetros básicos de legislação necessários a serem seguidos e que serão importantes para o cálculo dos indicadores. Esses parâmetros devem estar contidos em planos de recursos hídricos aprovados pelos respectivos comitês de bacias hidrográficas ou em resoluções dos conselhos de recursos hídricos ou dos próprios órgãos gestores.

A Tabela 8.3 apresenta os parâmetros de legislação necessários ao cálculo de cada um dos indicadores:

**Tabela 8.3 – Parâmetros de legislação necessários ao cálculo dos indicadores**

<b>Indicador</b>	<b>Parâmetros de Legislação</b>
$I_{qt1}$	- Profundidade mínima do lençol suficiente para avaliação da vulnerabilidade do aquífero como baixa ou alta
$I_{qt2}$	- Vazão ecológica de referência para os corpos de água em que serão previstas as captações; - Vazão de referência mínima disponível para demandas consuntivas.
$I_{r1}$	- Período de retorno a ser considerado para o cálculo das vazões máximas.
$I_{r3}$	- Período de retorno considerado recomendável para a proteção da área de projeto quanto a inundações
$I_{qL1}$ e $I_{qL2}$	- DBO permitida no efluente a ser lançado; - DBO permitida no manancial, conforme classe em que está enquadrado o corpo de água; - Vazão ecológica de referência para os corpos de água em que serão previstos os lançamentos de efluentes.

### 8.3.3- Cálculo dos indicadores para o projeto em análise

Nessa etapa da metodologia, serão calculados os indicadores propriamente ditos. Para isso, são necessários alguns parâmetros de cálculo hidráulico e hidrológico pelo analista ou constantes do projeto e que são apresentados na Tabela 8.4 para cada um dos indicadores.

**Tabela 8.4 – Parâmetros de cálculo necessários aos indicadores**

<b>Indicador</b>	<b>Parâmetros de Cálculo</b>
$I_{qt1}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume infiltrado médio da alternativa de projeto em análise, em <math>m^3</math> (<math>V_{inf\_med}</math>);</li> <li>- Volume infiltrado na área de projeto em sua situação natural, em <math>m^3</math> (<math>V_{inf\_nat}</math>);</li> <li>- Volume total correspondente à precipitação média anual na área de projeto, em <math>m^3</math> (<math>V_{prec\_med}</math>).</li> </ul> <p>Obs: : Caso seja constatada homogeneidade entre as taxas de infiltração das áreas naturais e de projeto, os volumes de infiltração podem ser substituídos por áreas permeáveis.</p>
$I_{qt2}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão mínima estimada nos cursos de água superficiais na saída da área de projeto, em <math>m^3/s</math> (<math>Q_{min}</math>);</li> <li>- Vazão prevista de demandas na área de projeto para usos consuntivos com águas superficiais, em <math>m^3/s</math> (<math>Q_{dem}</math>);</li> <li>- Vazão de demandas já comprometida para outros usos a montante ou a jusante da área de projeto, em <math>m^3/s</math>.</li> </ul>
$I_{qt3}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume médio anual previsto de reutilização ou recuperação de águas na área em projeto, em <math>m^3</math> (<math>V_{re}</math>);</li> <li>- Volume médio anual previsto de demanda de água para os usos múltiplos previstos na área de desenvolvimento urbano, em <math>m^3</math> (<math>V_{tot\_dem}</math>).</li> </ul>
$I_{r1}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão de pico a jusante da área de projeto, em <math>m^3/s</math> (<math>Q_{pico\_alt}</math>);</li> <li>- Vazão de pico a jusante da área de projeto, estando a bacia em sua situação natural, em <math>m^3/s</math> (<math>Q_{pico\_nat}</math>);</li> <li>- Vazão máxima que pode causar inundações em área a jusante do projeto, em <math>m^3/s</math> (<math>Q_{mund}</math>);</li> <li>- Coeficiente referente ao erro nos cálculos das vazões de cheia, a ser estimado pelo analista, adimensional (<math>K_{erro}</math>).</li> </ul>
$I_{r3}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Período de retorno de projeto para as inundações dentro da área de projeto, em anos (<math>T_{ret\_proj}</math>).</li> </ul>
$I_{qL1}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Demanda Bioquímica de Oxigênio do curso de água em sua situação natural, em mg/L (<math>C_{DBO\_nat}</math>);</li> <li>- Demanda Bioquímica de Oxigênio do lançamento de efluentes previsto, em mg/L (<math>C_{DBO}</math>);</li> <li>- Coeficiente referente ao erro da estimativa de DBO no efluente a ser lançado, adimensional (<math>K_{erro\_DBO}</math>).</li> </ul>

**Tabela 8.4 (CONT) – Parâmetros de cálculo necessários aos indicadores**

<b>Indicador</b>	<b>Parâmetros de Cálculo</b>
$I_{qL2}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parâmetros <math>C_{DBO_{nat}}</math>, <math>C_{DBO}</math> e <math>K_{erro\_DBO}</math>, já calculados para o indicador <math>I_{qL1}</math>;</li> <li>- Parâmetros <math>Q_{min}</math>, <math>Q_{dem}</math> e a vazão de demandas já comprometida para outros usos a montante ou a jusante da área de projeto, já calculados para o indicador <math>I_{qt2}</math>;</li> <li>- Vazão do efluente de esgotamento sanitário, em m<sup>3</sup>/s (<math>Q_{eff.}</math>);</li> <li>- Vazão de diluição necessária do curso de água para mantê-lo em sua classe de enquadramento após o lançamento do esgotamento sanitário, em m<sup>3</sup>/s (<math>Q_{dil\_DBO}</math>).</li> </ul>
$I_{qL5}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm o armazenamento/detenção das águas pluviais (<math>A_{armaz}</math>);</li> <li>- Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm a atuação conjunta da detenção e infiltração das águas pluviais (<math>A_{armaz+infiltr}</math>);</li> <li>- Área dentro do projeto cuja drenagem é realizada por meio de técnicas que prevêm a infiltração das águas pluviais (<math>A_{infiltr}</math>);</li> <li>- Área total de projeto (<math>A_{Total}</math>).</li> </ul>

### 8.3.4- Verificação dos indicadores quanto aos índices de veto

Após a realização dos cálculos dos indicadores, a primeira verificação a ser realizada trata da comparação de seus valores com aqueles referentes aos índices de veto propostos para cada um deles, correspondendo à primeira etapa do processo de apoio à decisão. Os índices de veto propostos para cada indicador são apresentados na Tabela 8.5.

**Tabela 8.5 – Índices de veto propostos para cada indicador**

<b>Indicador</b>	<b>Índice de Veto</b>
$I_{qt1}$	0,50
$I_{qt2}$	0,80
$I_{qt3}$	Não Possui
$I_{r1}$	0,50
$I_{r3}$	1,00
$I_{qL1}$	0,50
$I_{qL2}$	0,50
$I_{qL5}$	Não Possui

De acordo com as necessidades da área de projeto, alguns índices de veto propostos podem ser suprimidos ou alterados. Nessa situação pode ser citado o indicador  $I_{qt2}$  em que o veto proposto trata de alternativas de projeto cuja vazão mínima escoada nos corpos de água da área seria insuficiente para atendimento a 80% das suas demandas para usos consuntivos.

Esse valor pode ser variado para áreas diferentes em função das suas necessidades e das possibilidades de projeto.

### **8.3.5- Atribuição dos pesos para os indicadores**

Essa etapa de trabalho é muito importante para que o resultado das análises reflita os interesses dos decisores referentes à bacia hidrográfica em que estiver situada a área que se deseja urbanizar. Conforme pôde ser verificado pelos estudos de caso e pelas análises realizadas, dependendo dos valores dos indicadores, a ponderação adotada pode levar à consideração de determinado projeto como aceitável ou não, em função de privilegiar ou não aspectos em que ele tem melhor pontuação.

Na presente pesquisa, a ponderação adotada foi função de consulta a técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos e pesquisadores. Para a aplicação da metodologia proposta nas análises do cotidiano, recomenda-se que a ponderação seja função de consulta a representantes de comitês de bacias hidrográficas, com o apoio de técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos. Nessa situação, poderão ser atribuídos pesos diferentes para cada bacia hidrográfica em função de suas características e dos interesses em seu desenvolvimento.

### **8.3.6- Realização das análises multicritério**

A utilização dos métodos multicritério nos estudos de caso mostrou ser uma forma eficiente de agregação dos indicadores para análise global do empreendimento dando suporte à tomada de decisão quanto à sua aceitação no tocante às interferências nos corpos de água.

A aplicação dos métodos TOPSIS e Electre TRI, dois métodos de famílias diferentes e com formas distintas de análise de alternativas de projeto, foi relevante para permitir comparar as formas de abordagem, os parâmetros necessários e os resultados obtidos, além das ferramentas necessárias para seu cálculo.

A forma de abordagem do problema proposto é realizada de forma diferente pelos dois métodos. O TOPSIS utiliza uma função de utilidade multi-atributo em que é obtida uma Taxa de Similitude cujo valor, para cada projeto avaliado, é comparado com o valor estabelecido para a alternativa fictícia. Sendo assim, os indicadores não são comparados individualmente com a alternativa fictícia mas sim o valor resultante da análise global do empreendimento.

No caso do Electre TRI, devem ser estabelecidos valores para cada um dos indicadores da alternativa fictícia e cada um deles é comparado, individualmente, com os valores calculados para os indicadores do projeto em análise.

A aplicação dos dois métodos a cada um dos dois estudos de caso foi relevante para verificar que a necessidade do estabelecimento de valores para cada um dos indicadores da alternativa fictícia e sua comparação individual com os mesmos parâmetros para o projeto em análise leva à possibilidade de melhor entendimento pelo analista da forma de abordagem do método. Além disso, dá a oportunidade ao analista para a definição de valores diferentes para cada um dos indicadores da alternativa fictícia. No caso do TOPSIS, o analista também poderia aplicar valores diferentes aos indicadores da alternativa fictícia de forma a obter a sua Taxa de Similitude. No entanto, a comparação não é realizada de forma individual com os resultados obtidos para cada indicador.

No que se refere aos parâmetros necessários, além dos valores dos indicadores e seus pesos, o TOPSIS tem a necessidade apenas de definição do parâmetro  $p$ , que determina o tipo de distância às soluções ideal e *anti-ideal* que se deseja aplicar. A sua determinação é realizada de forma objetiva pelo analista e, conforme as análises realizadas, não levou a diferenças sensíveis no valor obtido para a Taxa de Similitude e não foi fator determinante à definição da aceitação dos projetos.

O Electre TRI necessita, em função de utilizar pseudo-critérios, da determinação de limiares de indiferença, preferência e veto. Esses limiares objetivam estabelecer diferenças entre os valores dos indicadores que fariam com que dois deles fossem considerados indiferentes entre si, o nível de preferência entre eles ou se por meio dos seus valores algum deles poderia por si só vetar o resultado positivo de determinada alternativa de projeto. Há, ainda, a necessidade do estabelecimento do Nível de Corte ( $\lambda$ ) que é fator determinante à consideração do projeto como incomparável, indiferente ou preferível à alternativa fictícia. Tratam-se de parâmetros cuja definição pode ser avaliada como subjetiva na maior parte dos casos em função do entendimento do analista quanto a indiferença, preferência ou veto, ao comparar os valores obtidos para cada indicador em relação à alternativa fictícia. Entretanto, a utilização de pseudo-critério é relevante para a consideração da incerteza nos valores calculados para cada indicador. Sendo assim, apesar das análises de sensibilidade realizadas não terem verificado grandes variações do resultado final em função da variação dos limiares, é relevante a sua definição criteriosa em função dos parâmetros existentes de projeto e suas incertezas.



Quanto aos resultados obtidos com a aplicação dos métodos, puderam ser também verificadas importantes diferenças. A aplicação do TOPSIS na metodologia proposta tem apenas dois resultados possíveis e diretos em função do valor da Taxa de Similitude ter valor superior ou inferior ao considerado para a alternativa fictícia. Na comparação de um projeto  $\underline{a}$  com uma alternativa fictícia  $\underline{b}$ , o Electre TRI pode ter quatro possibilidades de resultados, em função dos Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$  e do Nível de Corte estabelecido:  $\underline{a} > \underline{b}$  ( $\underline{a}$  é preferível a  $\underline{b}$ );  $\underline{b} > \underline{a}$  ( $\underline{b}$  é preferível a  $\underline{a}$ );  $\underline{a} R \underline{b}$  ( $\underline{a}$  é incomparável a  $\underline{b}$ );  $\underline{a} I \underline{b}$  ( $\underline{a}$  é indiferente a  $\underline{b}$ ). Os dois últimos não são objetivos para a tomada de decisão em relação ao projeto.

No primeiro estudo de caso realizado, referente ao Condomínio Vale dos Cristais, o resultado obtido pela aplicação dos dois métodos multicritério foi igual, pela consideração do projeto como aceitável. No entanto, no caso de Goiânia, os resultados obtidos foram diferentes para os cenários de projeto analisados uma vez que os três cenários foram considerados aceitáveis pelo TOPSIS, mas incomparáveis à alternativa fictícia no caso do Electre TRI. Apesar das análises de sensibilidade realizadas para o Electre TRI terem verificado uma maior tendência à consideração dos três cenários como aceitáveis, a sua definição não foi clara e objetiva para o decisor.

Sendo assim, no que se refere aos resultados possíveis com a aplicação dos dois métodos utilizados, foi verificada uma maior objetividade e facilidade de compreensão daqueles apresentados pelo TOPSIS.

Outro aspecto analisado quanto à aplicação dos métodos multicritério tratou das ferramentas necessárias para seu cálculo. Com base nas suas formulações e metodologias aplicadas, os dois métodos puderam ter seus cálculos desenvolvidos por meio planilhas eletrônicas. Sendo assim, a sua aplicação pelos órgãos gestores de recursos hídricos pode ser precedida do desenvolvimento de planilhas eletrônicas por seus próprios técnicos, com seu modelo de cálculo. Esse aspecto levou à conclusão que os dois métodos podem ser considerados acessíveis para aplicação corrente dos órgãos gestores de recursos hídricos, sem necessidade de serem adquiridos softwares específicos.

Uma vez que os dois métodos foram considerados de aplicação viável, em função de poderem ser calculados por meio de planilhas eletrônicas, recomenda-se sua utilização conjunta para possibilitar a comparação de resultados. Tendo o TOPSIS apresentado resultados mais objetivos em relação ao Electre TRI, a aplicação dos dois ao mesmo projeto pode ser útil para dar segurança ao analista quanto à sua decisão final.

A obtenção de resultados positivos ou negativos com a aplicação dos dois métodos pode levar à maior certeza na recomendação do analista pela aceitação ou não. No entanto, podem ocorrer casos, como foi verificado no segundo estudo de caso analisado, em que o TOPSIS apresentou resultado positivo e o Electre TRI concluiu pela incomparabilidade dos três cenários em relação à alternativa fictícia. Nessa situação, a aplicação dos dois métodos foi importante, pois pôde mostrar uma maior tendência pela consideração das alternativas como aceitáveis, apesar dos dois resultados não terem sido exatamente iguais.

Vale ressaltar quanto a esse tema que os indicadores que não puderem ser calculados por ausência ou inadequação das informações básicas não deverão ser aplicados nas análises multicritério, sob pena de influenciarem o resultado final. As análises realizadas do primeiro estudo de caso por outros doutorandos mostraram que a dúvida de um deles levou à aplicação de valor nulo para os indicadores para os quais ele não possuía informações, o que alterou o resultado obtido. Sendo assim, caso o analista não possua informações suficientes para o cálculo de determinado indicador, deve suprimi-lo das análises.

### **8.3.7- Realização das análises de sensibilidade e robustez dos resultados**

A aplicação dos métodos multicritério deve ser seguida da realização de análises de sensibilidade e robustez dos resultados obtidos. Na metodologia proposta no presente estudo, recomenda-se a verificação dos resultados com a variação de alguns parâmetros básicos como os pesos, limiares e nível de corte.

No que se refere aos pesos aplicados aos indicadores, mesmo sendo recomendado que sejam função de consulta a representantes do Comitê de Bacia Hidrográfica, deve ser verificada a influência no resultado final causada por pequenas mudanças em seus valores. Recomenda-se a variação dos pesos de cada um dos indicadores em percentuais correspondentes a 10% para mais ou para menos, o que poderia aumentar a certeza na decisão do analista.

Quanto aos limiares aplicados ao método Electre TRI, também é indicada sua variação de forma a verificar os resultados obtidos. Sugere-se que o limiar de indiferença tenha seu valor variado de 0 a 0,20, e que o limiar de preferência seja variado de 0 a 0,50, como foi realizado nos estudos de caso desta pesquisa.

Por fim, quanto ao nível de corte, é um parâmetro de grande relevância na definição da sobre-classificação de determinado projeto em relação à alternativa fictícia ou à consideração dos dois como incomparáveis ou indiferentes. Recomenda-se a aplicação inicial de valor

correspondente a 0,750, mas podendo ser reduzido até 0,500 em função da necessidade de certeza na decisão do analista. Os maiores valores aplicados para nível de corte significam menor nível de incerteza aceita pelo analista para a decisão quanto à aceitação de determinado projeto.

### **8.3.8- Decisão do analista**

A última etapa prevista para a metodologia trata da proposição de decisão do analista. Com base nos resultados das verificações anteriores, das análises multicritério, de sensibilidade e robustez, o analista deve estar capaz de apresentar sua decisão quanto ao projeto no que se refere às suas interferências previstas nos corpos de água.

As decisões possíveis para os projetos em análise são aquelas apresentadas quando da proposição de metodologia e podem versar sobre a sua consideração como aceitável, inaceitável ou aceitável com a necessidade de alteração no projeto ou mitigação de impactos.

Nessa última situação o empreendedor deve encaminhar as alterações no projeto para nova análise do órgão gestor de recursos hídricos, objetivando a sua verificação quanto ao atendimento aos índices de veto não seguidos anteriormente.

## **8.4- Aplicação da Metodologia com os Indicadores Consolidados**

Conforme verificado nos itens anteriores, a consolidação dos indicadores levou a alterações nos parâmetros, melhoria na sensibilidade dos cálculos, junção de indicadores e à exclusão de dois indicadores, com a criação de novo para sua substituição.

Com isso, é possível que os resultados da aplicação da metodologia nos estudos de caso sejam alterados. Nesse sentido, tornou-se necessária a aplicação dos novos indicadores, de forma a verificar possíveis diferenças nos resultados da avaliação das alternativas de projeto.

Para esta aplicação, foi necessária a realização de ajustes nos pesos atribuídos, em função da supressão, junção e criação de indicadores.

Uma vez que os indicadores  $I_{r1}$  e  $I_{r2}$  foram reunidos no novo indicador  $I_{r1}$ , seus pesos foram somados, e agregados para análise deste novo indicador. Os indicadores  $I_{qL3}$  e  $I_{qL4}$  foram suprimidos, sendo o novo indicador  $I_{qL5}$  responsável pela avaliação do mesmo aspecto previsto pelos dois anteriores. Nesse sentido, a soma dos pesos dos dois indicadores anteriores foi utilizada para a avaliação do novo indicador.

#### 8.4.1- Estudo de caso do condomínio Vale dos Cristais

O primeiro estudo de caso realizado tratou do condomínio Vale dos Cristais, cujas informações e parâmetros básicos para o cálculo dos indicadores são apresentados no item 7.4 deste documento. A Tabela 8.6 apresenta os valores calculados para os indicadores consolidados, bem como os índices de veto e pesos atribuídos para cada um deles que, conforme já explicado, foram ajustados em função da junção, supressão e criação de indicadores.

**Tabela 8.6** – Valores calculados, índices de veto e pesos atribuídos para os novos indicadores

<b>Indicador</b>	<b>Valor Calculado</b>	<b>Índice de Veto</b>	<b>Pesos Atribuídos</b>
$I_{qt1}$	1,00	0,50	11,07
$I_{qt2}$	1,00	0,80	10,71
$I_{qt3}$	0,50	Não Possui	10,86
$I_{r1}$	0,52	0,50	24,14
$I_{r3}$	1,00	1,00	9,43
$I_{qL1}$	0,59	0,50	9,71
$I_{qL2}$	<b>0,00</b>	0,50	10,18
$I_{qL5}$	0,66	Não Possui	13,90

Conforme pode ser verificado nos resultados apresentados na Tabela 8.6, o indicador  $I_{qL2}$ , que teve sua expressão de cálculo mantida, continuou com seu valor calculado abaixo do índice de veto, o que leva à necessidade de melhoria da alternativa de projeto quanto a este aspecto. A seguir, os valores apresentados na Tabela 8.6 foram aplicados aos mesmos dois métodos multicritério, com os mesmos parâmetros utilizados anteriormente.

Para o TOPSIS, o resultado da avaliação realizada refere-se à Taxa de Similitude, que foi obtida correspondente a 0,59 com os novos indicadores. Este resultado foi inferior ao obtido anteriormente de 0,68, em função, principalmente, do valor obtido para o novo indicador  $I_{r1}$ , que foi bastante inferior aos valores obtidos para os indicadores  $I_{r1}$  e  $I_{r2}$  na análise inicial. No entanto, a nova avaliação manteve a alternativa de projeto como aceitável, com a necessidade de melhoria no projeto quanto ao aspecto tratado pelo indicador  $I_{qL2}$ .

A aplicação do Electre TRI tem como resultados os Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$ , que são comparados com o Nível de Corte, de forma a determinar a sobre-classificação ou não da alternativa de projeto em relação à fictícia. A Tabela 8.7 apresenta os resultados obtidos para os Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$  com os indicadores anteriores e com os consolidados.

**Tabela 8.7** – Resultado dos Índices de Credibilidade com a aplicação dos indicadores iniciais e consolidados

Índice de Credibilidade	Indicadores iniciais	Indicadores consolidados
$\sigma(a,b)$	0,759	0,898
$\sigma(b,a)$	0,002	0,103

Com os Índices de Credibilidade apresentados na Tabela 8.7, o resultado final da avaliação da alternativa de projeto com os indicadores consolidados foi semelhante ao resultado com os indicadores inicialmente propostos. A alternativa de projeto sobre-classificou a alternativa fictícia, o que levou à sua consideração como aceitável, mas, com a indicação da necessidade de ajuste no aspecto avaliado pelo indicador  $I_{qL2}$ . As diferenças obtidas nos valores dos Índices de Credibilidade foram verificadas em função dos novos valores dos pesos aplicados e, principalmente pela aplicação do novo indicador  $I_{qL5}$ .

#### 8.4.2- Estudo de caso sobre a área urbanizada de Goiânia

O outro estudo de caso realizado, tratou da área urbanizada em Goiânia, que teve três cenários de projeto desenvolvidos. O primeiro cenário previu a utilização de sistemas clássicos de drenagem, o segundo estudou a área com duas bacias de retenção em áreas públicas e o terceiro previu bacias de retenção na saída de cada parcela ao sistema viário. A explicação dos três cenários, bem como os parâmetros básicos para o cálculo dos indicadores são apresentados no item 7.5 deste documento. A Tabela 8.8 apresenta os valores obtidos para os indicadores consolidados e sua comparação com os índices de veto.

**Tabela 8.8** – Resultados dos indicadores e análise quanto aos índices de veto

Indicador	Cenário I	Cenário II	Cenário III	Índice de Veto
$I_{qt1}$	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	0,50
$I_{qt2}$	1,00	1,00	1,00	0,80
$I_{qt3}$	0,50	0,56	0,56	Não Possui
$I_{r1}$	<b>0,00</b>	0,98	0,95	0,50
$I_{r3}$	1,00	1,00	1,00	1,00
$I_{qL1}$	Não Calculado	Não Calculado	Não Calculado	0,50
$I_{qL2}$	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,50
$I_{qL5}$	0,00	0,70	0,47	Não Possui

A seguir, os valores dos indicadores foram aplicados nos métodos multicritério, de forma a verificar os resultados da análise global dos empreendimentos. Para o método TOPSIS, foram obtidos os valores para a Taxa de Similitude, que foram comparados com os valores obtidos anteriormente, conforme apresentado na Tabela 8.9.

**Tabela 8.9** – Resultado da Taxa de Similitude para os cenários avaliados

<b>Taxa Similitude/Cenário</b>	<b>Cenário I</b>	<b>Cenário II</b>	<b>Cenário III</b>
$D_p(a_i)$ (Indicadores iniciais)	0,52	0,61	0,61
$D_p(a_i)$ (Indicadores consolidados)	0,33	0,66	0,64

Os resultados apresentados na Tabela 8.9 mostram que os Cenários II e III tiveram seus resultados melhorados com os novos indicadores e foram considerados aceitáveis, com a necessidade de ajustes no projeto, no que se refere aos indicadores que têm valores abaixo dos índices de veto, ou seja,  $I_{qt1}$  e  $I_{qL2}$ . O Cenário I teve seu resultado alterado, sendo agora considerado inaceitável, principalmente em função do baixo valor obtido para o novo indicador  $I_{qL5}$  e a redução do valor obtido para o indicador  $I_{r1}$  em relação aos antigos indicadores  $I_{r1}$  e  $I_{r2}$ .

Posteriormente, os mesmos indicadores foram utilizados para aplicação do Electre TRI, que apresenta os Índices de Credibilidade  $\sigma(a,b)$  e  $\sigma(b,a)$ . Em função do valor escolhido para o Nível de Corte, pode ser determinado se a alternativa de projeto sobre-classifica ou não a fictícia. Os Índices de Credibilidade calculados são apresentados na Tabela 8.10, assim como o resultado final da avaliação de cada um dos três cenários em relação à alternativa fictícia, considerando o Nível de Corte de 0,500.

**Tabela 8.10** – Resultado dos Índices de Credibilidade para os diferentes cenários

<b>Ind de Credibilid./Cenário</b>	<b>Cenário I</b>	<b>Cenário II</b>	<b>Cenário III</b>
$\sigma(a,b)$	0,112	0,557	0,557
$\sigma(b,a)$	0,492	0,018	0,065
<b>Resultado Final</b>	<b>a R b</b>	<b>a &gt; b</b>	<b>a &gt; b</b>

A análise dos valores apresentados na Tabela 8.10 mostra que os Cenários II e III foram considerados superiores e sobre-classificaram a alternativa fictícia, ao contrário do Cenário I, que foi considerado incomparável.

Nesse sentido, pode-se afirmar que os Cenários II e III foram considerados aceitáveis, com a necessidade de correções no projeto, no que se refere a alguns indicadores. Quanto ao Cenário I, não foi possível definir sua avaliação apenas com os resultados do Electre TRI. No entanto, com a utilização conjunta dos dois métodos multicritério, o TOPSIS pôde auxiliar a sua avaliação como inaceitável.

Por fim, vale ressaltar que todos os indicadores consolidados tiveram seus cálculos possíveis de serem realizados, à exceção do indicador  $I_{qL1}$ , em que um parâmetro básico não tem seu valor dispo nível na legislação do Estado de Goiás.

## **9- CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS**

O objetivo deste trabalho foi a proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização na quantidade, qualidade e regime existente nos corpos de água. Trata-se de um problema de decisão, em que a avaliação a ser realizada deve estar compatível com os procedimentos executados por um decisor, no caso os órgãos gestores de recursos hídricos. Os resultados da metodologia deverão dar suporte à sua decisão quanto à autorização para a implantação desses empreendimentos.

Para atingir esse objetivo, foram concebidos indicadores que, posteriormente, foram agregados por dois métodos de análise multicritério, apresentando resultado relevante à tomada de decisão. A metodologia proposta foi verificada por meio de análise crítica e consolidada com os seus resultados e ajuste dos aspectos em que foi verificada necessidade.

Ao final desse trabalho, a metodologia proposta pode ser considerada pertinente para a análise para a qual foi desenvolvida, uma vez que seus indicadores tiveram seus cálculos factíveis, abrangendo todos os aspectos considerados como relevantes das alterações causadas pelo desenvolvimento urbano nos corpos de água. Além disso, a aplicação dos métodos multicritério teve viabilidade e compreensão verificada nos cálculos realizados e os resultados obtidos ao final foram constatados úteis para auxílio na tomada de decisão necessária.

Vale ressaltar a abrangência do presente trabalho das linhas de pesquisa em hidrologia urbana e em gestão de recursos hídricos, gerando resultados para esses dois domínios do conhecimento.

A presente pesquisa pode aportar, ainda, para a sociedade e para a academia, outras conclusões relevantes, sendo apresentadas a seguir em função das atividades executadas. Além disso, perspectivas foram abertas para a realização de novos trabalhos tratando da gestão de recursos hídricos e da hidrologia urbana.

### **9.1- Conclusões**

#### **9.1.1- Utilização de indicadores para avaliação de projetos**

A aplicação de indicadores para a avaliação de alternativas de projeto mostrou-se útil em função de ter permitido a consideração de todos os aspectos de interesse em apenas uma análise global do empreendimento a ser implantado.

A comparação da metodologia proposta com os sistemas utilizados nas análises de outorga atuais mostrou que os indicadores abrangem aspectos não considerados, ainda, pelos órgãos gestores, não sendo verdadeira a recíproca, tendo em vista que todos os aspectos verificados nas análises atuais constam nos indicadores propostos. Essa comparação permitiu, também, aportar outros benefícios da metodologia, podendo ser ressaltado o fato da análise global do empreendimento poder indicar uma decisão mais coerente, ao contrário das análises realizadas atualmente por interferência nos corpos de água, que possibilitam a ocorrência de decisões conflitantes para usos distintos do mesmo empreendimento.

Com base nos resultados obtidos pela consulta a especialistas, foi possível observar que os indicadores propostos abordaram todos os principais aspectos relevantes no que se refere à urbanização e suas interferências nos corpos de água.

Outro aporte obtido com a aplicação de indicadores ocorreu nos estudos de caso, concluindo-se pela possibilidade de supressão de algum aspecto na análise, caso o analista não obtenha informações necessárias ao seu cálculo. Esse fato pôde ser constatado em função da supressão individual de algum indicador não alterar a decisão final do analista, após a execução das análises de sensibilidade e robustez.

Da mesma forma, a aplicação de indicadores mostrou a possibilidade do analista acrescentar algum aspecto que considerar relevante em determinada avaliação ou, ainda, agregar outros indicadores ambientais, sociais, econômicos ou técnicos, para realizar a análise global de viabilidade do empreendimento.

Outro aspecto relevante trata-se da avaliação de robustez da formulação proposta para cada indicador, em função da análise realizada por outros doutorandos ter apresentado poucas dúvidas e diferenças nos resultados. O interesse nessa conclusão se deve à possibilidade da aplicação da metodologia por técnicos de órgãos gestores diferentes com pequena influência subjetiva do analista.

Finalmente, mais uma contribuição verificada para o meio científico trata da constatação da eficiência dos indicadores em mais um campo de aplicação, permitindo a utilização por órgãos gestores de recursos hídricos na avaliação das interferências do desenvolvimento urbano nos corpos de água.



### **9.1.2- Aplicação de métodos multicritério**

Os métodos multicritério têm sido aplicados de forma pertinente em diversos domínios do conhecimento na agregação de indicadores, objetivando o suporte à decisão. No presente estudo, foram aplicados dois métodos com vistas à comparação das formas de abordagem, das ferramentas, dos parâmetros necessários e dos resultados obtidos, trazendo aportes relevantes a serem considerados na realização de novos estudos com a aplicação desses métodos.

Os métodos TOPSIS e Electre TRI foram considerados pertinentes uma vez que sua formulação, compreendendo as ferramentas e os parâmetros necessários ao seu cálculo, mostrou-se viável e compreensível para uso em procedimentos correntes de órgãos gestores de recursos hídricos.

A sua aplicação nos estudos de caso foi relevante para permitir a conclusão pelo interesse da aplicação conjunta dos dois métodos, em função da maior objetividade do resultado obtido com TOPSIS poder ser complementada com a robustez daquele apresentado pelo Electre TRI, permitindo ao analista a recomendação de uma decisão mais segura.

### **9.1.3- Análise crítica**

A análise crítica como forma de verificação e consolidação da metodologia proposta foi realizada por meio de sistemática inovadora, englobando diversas avaliações no mesmo processo e permitindo a realimentação da metodologia com ajustes e refinamentos como melhorias nos indicadores, aprovação dos métodos multicritério e definição de valores básicos a serem aplicados nos cálculos e nas análises de sensibilidade e robustez.

A sistemática aplicada iniciou-se com a comparação da metodologia proposta com os sistemas aplicados atualmente, visando a verificar avanços e possíveis retrocessos. Posteriormente, foram consultados especialistas que avaliaram a pertinência dos aspectos propostos e a ausência de pontos considerados relevantes, terminando por arbitrar pesos para os indicadores propostos.

A seguir, foram realizados os dois estudos de caso com áreas em situações de projeto distintas. O primeiro tratou de uma área natural com uma alternativa de projeto de urbanização de um condomínio aplicando sistemas compensatórios de drenagem. Nesse mesmo estudo a metodologia foi aplicada, ainda, por três outros doutorandos de universidades distintas para comparação de resultados. O segundo estudo de caso considerou uma área já urbanizada de um município com três alternativas de sistemas de drenagem para a situação

futura. Nessa situação puderam ser comparadas as alternativas de projeto entre si e os resultados foram cotejados com aqueles obtidos por meio de outras metodologias propostas em outros estudos.

A sistemática aplicada foi considerada eficiente para a verificação e consolidação da metodologia proposta, permitindo ser transposta e adaptada para outros casos e orientando novas pesquisas relacionadas a outros domínios da ciência.

#### **9.1.4- Aplicação como metodologia de outorga**

Com base nos resultados da análise da legislação de recursos hídricos, da proposição de fluxograma formal e da análise crítica, é possível concluir pela possibilidade de aplicação da metodologia para avaliação de processos de outorga de direito de uso das águas.

Uma vez prevendo alterações na quantidade, qualidade e regime dos corpos de água, a urbanização de uma determinada área pode ser considerada sujeita a esse ato administrativo emitido pelos órgãos gestores de recursos hídricos, conforme a legislação vigente.

A metodologia proposta no presente estudo é aplicada à avaliação global de todas as interferências nos corpos de água e os índices de veto e valores de referência propostos permitem a introdução de valores limites considerados aceitáveis para cada indicador. Esses limites podem ser atribuídos pelos órgãos gestores de recursos hídricos ou por regulamentação específica, advinda de comitês de bacia ou conselhos de recursos hídricos.

A consulta realizada a especialistas de órgãos gestores de recursos hídricos e de entidades de pesquisa corrobora essa conclusão uma vez que nenhum desses especialistas se mostrou contra a aplicação da metodologia proposta para a análise de processos de outorga para o desenvolvimento urbano.

Essa contribuição trata de mais um aspecto inovador da presente pesquisa uma vez que a análise realizada verificou que um dos motivos para a não aplicação da legislação de recursos hídricos no que se refere à outorga para urbanização trata da ausência de procedimentos técnicos harmonizados para utilização corrente nesse domínio em qualquer bacia hidrográfica.

### **9.1.5- Aplicação da metodologia proposta para outros fins**

Apesar de a metodologia proposta objetivar a avaliação dos efeitos do desenvolvimento urbano nos corpos de água, a análise crítica desenvolvida permitiu verificar sua possibilidade de aplicação para outros fins.

Os estudos de caso realizados abrangeram situações distintas envolvendo, no primeiro caso, uma área natural com projeto de urbanização e, no outro, uma área já urbanizada e com sistema clássico de drenagem com três alternativas de desenvolvimento. O estudo de bacias em situação natural ou com urbanização já implantada e com técnicas clássicas ou compensatórias de drenagem foi relevante para concluir pela viabilidade de aplicação da metodologia de forma ainda mais útil e abrangente à sociedade.

A análise dos resultados obtidos permitiu verificar a eficiência da aplicação da metodologia para comparação e escolha de projetos para a mesma área ou para áreas diferentes na mesma bacia, comparação de desempenho de áreas no mesmo município visando a definição de prioridades de obras e acompanhamento das interferências causadas pela urbanização nos corpos de água ao longo do tempo.

As análises realizadas quanto a essas outras finalidades para as quais a metodologia proposta pode ser aplicada foram realizadas de forma preliminar, tirando proveito dos estudos de caso avaliados. Sendo assim, vale a ressalva de que a aplicação corrente da metodologia para esses outros fins deve ser ainda precedida de novos estudos.

### **9.2- Perspectivas**

Os resultados e conclusões advindos desta pesquisa permitem vislumbrar a possibilidade de abertura de perspectivas para o desenvolvimento de novos estudos, de formas diversas.

Um aspecto corrente verificado na revisão bibliográfica, nos estudos de caso e na consulta aos especialistas tratou da carência de informações de qualidade das águas pluviais e sobre a análise do impacto de concentrações importantes de diferentes poluentes nos meios receptores no Brasil. Apesar dos poucos estudos verificados no País, acrescidos daqueles do exterior, mostrarem a importância da contribuição de poluentes advindos dessas águas, não há, ainda, uma mentalidade de monitoramento no Brasil.

Nesse sentido, há a perspectiva de realização de estudos relacionados à determinação da concentração de poluentes nas águas pluviais e a análise da capacidade de suporte dos meios

receptores e autodepuração, no que se refere aos aportes dessas águas pluviais juntamente com os efluentes de esgotamento sanitário. Quanto aos lançamentos das águas pluviais nos corpos de água, devem ser verificados os efeitos diretos e os cumulativos devendo, para estes últimos serem estimadas as massas anuais lançadas. Esses estudos poderiam indicar a possibilidade de maior flexibilidade dos valores permitidos das concentrações de poluentes nos lançamentos, em função de características dos corpos de água receptores, levando à recomendação de alteração em resoluções já existentes do CONAMA ou a redação de alguma específica para águas pluviais.

A literatura estrangeira sintetizada em Ellis *et al.* (2005) mostra que as massas anuais de poluentes presentes nas águas pluviais são extremamente variáveis e dependem de numerosos fatores como: características dos eventos pluviais (duração, intensidade e frequência), dos intervalos de tempos secos, do tipo de superfície urbana, das atividades existentes na área, do estado das redes de drenagem (manutenção e reparação), etc.

Apenas o conhecimento do tipo de urbanização e das atividades existentes na área pode não ser suficiente para caracterizar os poluentes presentes nas águas pluviais. O estudo dos dados de concentrações e de cargas de poluentes mostra que elas são variáveis não apenas de um lugar a outro, mas também de um evento pluvial a outro na mesma área. Isso mostra que, para obter avanços na avaliação dos impactos decorrentes do lançamento das águas pluviais, é necessário fazer monitoramentos *in loco* que levem a ordens de grandeza ou a intervalos de valores de concentrações de poluentes com um bom nível de confiança.

Esse aspecto indica a necessidade de estudos visando à tentativa da modelagem da qualidade das águas de escoamento pluvial em função das tipologias de urbanização, das características das chuvas, da superfície da bacia e de outros fatores atinentes ao escoamento.

Ainda, tratando da qualidade das águas pluviais, pode ser verificada a necessidade de melhoria do conhecimento sobre sistemas que permitem limitar o aporte de poluentes por meio do pré-tratamento por decantação ou pela limitação do escoamento, princípios das técnicas alternativas ou compensatórias de drenagem urbana. Com isso, são abertas perspectivas de monitoramento e modelagem das eficiências de remoção de poluentes por cada tipo de técnica de drenagem urbana. Dentre os estudos contemplados na pesquisa, não foi encontrada pesquisa de campo realizada no Brasil relacionada a esse tema, uma vez que todos os estudos nesse domínio tratam de aspectos ligados à variação do regime ou do volume do escoamento superficial. Sendo assim, devem ser desenvolvidas pesquisas experimentais

objetivando valores adaptados às condições brasileiras, notadamente por meio de monitoramentos *in loco* e por longos períodos.

Assim, as pesquisas precedentemente citadas deverão levar a valores úteis para aplicação em indicadores para a avaliação dos impactos da urbanização na qualidade das águas pluviais, com a melhoria na sua formulação.

No que se refere à análise crítica, pode ser visualizada a possibilidade de melhoria metodológica com a sua aplicação em algum estudo de caso cujo empreendimento estiver implantado e com monitoramento existente e que o analista disponha de informações de projeto adequadas para o cálculo dos indicadores nos dois momentos. Nessa situação, poderão ser comparados os valores dos indicadores calculados para o projeto com aqueles observados após a construção da obra, para verificação de concordância da metodologia e das estimativas realizadas no momento de projeto. Para a presente pesquisa não foram encontrados estudos com tais informações para possível aplicação.

Outra perspectiva vislumbrada trata da possibilidade de continuação dos estudos para verificar a viabilidade de aplicação da metodologia proposta em finalidades como aquelas apresentadas no item 7.6 ou outras às quais ela puder se mostrar útil, aplicando-a a outros estudos de caso mais específicos.

Finalmente, a metodologia proposta pode ser agregada a outras já aplicadas ou em desenvolvimento para a avaliação de aspectos técnicos, sociais, ambientais, jurídicos, ecológicos, econômico-financeiros e culturais, apoiando a análise global de viabilidade de implantação de um empreendimento ou a análise para suporte à sua certificação ambiental.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACRE. Lei Estadual n.º 1.500/2003. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Acre, dispõe sobre infrações e penalidades aplicáveis e dá outras providências. 19p., 2003.
- ADRIAANSE, A. Environmental policy performance indicators. SDV Publishers. Haia, Holanda. 1993.
- AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS. Manual de Instrução para Licenciamento Ambiental. Goiânia, Goiás. 50p., 2003.
- AGÊNCIA AMBIENTAL DE GOIÁS. Consulta ao site da Agencia Ambiental de Goiás em 31/05/2006. <http://www.agenciaambiental.go.gov.br>. Internet. 2006.
- ALAGOAS. Lei Estadual n.º 5.965/1997. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o sistema estadual de gerenciamento integrado de recursos hídricos e dá outras providências. 28p., 1997.
- AMAPÁ. Lei Estadual n.º 686/2002. Dispõe sobre a Política de gerenciamento de recursos hídricos do Estado do Amapá e dá outras providências. 21p., 2002.
- AMAZONAS. Lei Estadual n.º 2.712/2001. Disciplina a Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelece o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. 32p., 2001.
- ANA. Glossário de termos hidrológicos. Versão 2.01. Meio Digital disponível em [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br). 2002.
- ANA. Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no País – Diretrizes e prioridades. Caderno de Recursos Hídricos de estudos técnicos nacionais. Brasília. 130p., 2005.
- ANA. Disponibilidade e balanço hídrico da bacia do ribeirão Pípiripau. Nota Técnica n.º 600/2004/SOC. 15p., 2004.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Resolução n.º 707/2004. Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga e da outras providências. 8p. 2004.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Resolução n.º 131/2003. Dispõe sobre procedimentos referentes à emissão de declaração de reserva de disponibilidade hídrica e de outorga de direito de uso de recursos hídricos, para uso de potencial de energia hidráulica superior a 1 MW em corpo de água de domínio da União e dá outras providências. 5p. 2003.
- APWA. Water pollution aspects of urban runoff. Water quality administration. Water Pollution Research Series. Report n° WP-20-15, 1969.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. pp.351-362. In: TUCCI, C. E. M. e MARQUES, D. M. L. M. (Org) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 558p, 2000.
- ARONDEL, C.; GIRARDIN, P. Sorting cropping systems on the basis of their impact on groundwater quality. European Journal of Operational Research. Vol. 127, pp.467-482, 2000.
- AVCO. Sormwater pollution from urban activity: water quality administration. Water Pollution Control Research Series. Report n° 11034 FKL. 1970.

- AZZOUT, Y. Aide a la décision appliquée au choix des techniques alternatives en assainissement pluvial. Tese de doutorado. Méthodes de conception en aménagement, bâtiment et techniques urbaines – L’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, França. 245p., 1996.
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. N. e ALFAKIH, E. **Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial: choix, conception, réalisation et entretien**. Technique et Documentation. Lavoisier. Paris, França. 372 p, 1994.
- BACHOC, A. Le transfert des solides dans les réseaux d’assainissement. Tese de Doutorado. Institut National Polytechnique de Toulouse. Toulouse, França. 281p. + anexos, 1992.
- BAHIA. Lei Estadual n.º 6.855/1995. Dispõe sobre a Política, o Gerenciamento e o Plano Estadual de Recursos Hídricos. 8p., 1995.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 266p, 2005a.
- BAPTISTA, M. B.; CABRAL, J. R.; NASCIMENTO, N. O.; PORTELA, R. Projeto de um sistema de drenagem urbana com utilização combinada de tecnologias compensatórias. XX Congresso Nacional Del Água. Mendoza, Argentina, anais eletrônicos, 2005b.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 7, n.1. Porto Alegre, 2002.
- BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S.; ALFAKIH, E. Analyse de donnés pour l’élaboration d’indicateurs technico-economique de système alternative em assainissement pluvial. Novatech 2001. Vol. 1. pp. 63-70. Lyon, França. 2001.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; SOUZA, V. C. B.; COSTA, L. S. G. M. Utilização de tecnologias compensatórias no projeto de um sistema de drenagem urbana. Anais do XVII Congresso Nacional del Água e II Simpósio de Recursos Hídricos del Conosur. Santa Fé, Argentina. pp.248-257, 1998.
- BARDIN, J. P. Contribution à une meilleure connaissance du fonctionnement qualitatif des bassins de retenue soumis en permanence à un débit traversier avec la prise en compte des incertitudes. Tese de Doutorado. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, França. 341p. + anexos, 1999.
- BARRAUD, S.; DECHESNE, M.; BARDIN, J. P.; VARNIER, J. C. Statistical analysis of pollution in stormwater infiltration basins. Lyon, França. Novatech 2004. Vol. 2. pp.1485-1492, 2004.
- BARRERA-ROLDÁN, A.; SALDÍVAR-VALDÉS, A. Proposal and application of a sustainable development index. Ecological Indicators. Elsevier Science Ltd. Volume 2. pp.251-256, 2002.
- BELGRAND, E. Communication du 14 juillet 1857. Société météorologique de France. Annuaire tome 5. Paris, França. pp.179-185, 1857.
- BELGRAND, E. Les travaux souterrains de Paris: les égouts, les vidanges. Ed. Vve Dunot. Paris, França. 1887.
- BENNETT, E. R.; LINSTEDT, K. D. Pollutational characteristics of stormwater runoff. Colorado water resources institute completion report n° 84. Colorado State University, Fort Collins, Colorado, Estados Unidos. 204p, 1978.



- BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. Cours d'hydrologie urbaine. Notas de aula. URGH-HU-INSA. Lyon, França. 2000.
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55, 3-23, 1982.
- BRAGA JUNIOR, B. P. F.; GOBETTI, L. E. C. Análise Multiobjetivo. In: Porto, R. L. (Org.) **Técnicas quantitativas para gerenciamento de recursos hídricos**. Ed. Universidade, UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 420p., 1997.
- BRASIL. Lei Federal n.º 9.984/2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Água - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. 13p, 2000.
- BRASIL. Lei Federal n.º 9.433/97. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 15p., 1997.
- BRASIL. Constituição Federal de 1988.
- BRASIL. Decreto 24.643/34. Código de águas. 34p., 1934.
- BÜRKL-ZIEGLER. Grösste abflussmenge bei städtischen abzugkanälen. Ed. Füssli and co. Zurique, Suíça. 1880.
- BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban Drainage**. Londres: St Edmundsbury Press., 489p., 2000.
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Previsão da vazão em macrobacias urbanas: arroio Dilúvio em Porto Alegre. pp. 53-78. In: TUCCI, C. E. M. e MARQUES, D. M. L. M. (Org) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 558p, 2000.
- CAMPANA, N. A. Impacto da urbanização nas cheias urbanas. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em engenharia de recursos hídricos e saneamento ambiental da UFRGS. Porto Alegre. 222p, 1995.
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas. RBE, Caderno de recursos hídricos. v12, n2. pp.79-94, 1994.
- CASTRO, L. M. A. Proposição de indicadores para a avaliação de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 118p, 2002.
- CBH Rio das Velhas. Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio das Velhas - Resumo Executivo. 226p., 2004.
- CEARÁ. Lei Estadual n.º 11.996/92. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH e dá outras providências. 22p., 1992.
- CHANGNON, S. A. Inadvertent weather modification. *Water Research Bulletin*. N.12, pp.695-718, 1976.
- CHEBBO, G. ; MOUCHEL, J. M. ; SAGET, A. ; GOUZAILLES, M. La pollution des rejets urbains par temps de pluie: flux, nature et impacts. *TSM* nº11. pp796-806. 1995.

- CHEBBO, G. Solides des rejets pluviaux urbains caractérisation et traitabilité. Tese de Doutorado. École Nationale des Ponts et Chaussées. Paris, 413p. + anexos, 1992.
- CHEVALIER, S.; CHOINIÈRE, R.; BERNIER, L. User guide to 40 community health indicators. Community Health Division, Health and Welfare. Ottawa, Canadá. 1992.
- CHOCAT, B. (Coord.) **Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement**. Lavoisier. Paris, França. 1124 p, 1997.
- CHOCAT, B. Conception et gestion des systèmes d'assainissement: Comment choisir un programme informatique adapté. Session de formation ENPC. Paris, França. 20p, 1992.
- CHOCAT, B. La crue de l'Izeron du 29 avril 1989, premiers éléments d'analyse. Rapport interne. INSA. Lyon, França. 3p, 1990.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n.º55/2005. Estabelece diretrizes para elaboração do Plano de Utilização da Água na Mineração-PUA, conforme previsto na Resolução CNRH no 29, de 11 de dezembro de 2002. 5p., 2005.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n.º37/2004. Estabelece diretrizes para a outorga de recursos hídricos para a implantação de barragens em corpos de água de domínio dos Estados, do Distrito Federal e da União. 4p., 2004.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n.º29/2002. Estabelece diretrizes para a outorga de usos de recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais. 4p., 2002.
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n.º16/2001. Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. 7p., 2001.
- COHON, J. L.; MARKS, D. H. A review and evaluation of multiobjective programming techniques. Water Resources Research. Vol. 11, n.º2. pp.208-220, 1975.
- COLANDINI, V. Effets des structures réservoirs à revêtement poreux sur les eaux pluviales: qualité des eaux et devenir des métaux lourds. Tese de Doutorado: Université de Pau et des Pays de l'Adour, França. 161p. + anexos, 1997.
- COLSON, N. V. Characterization and treatment of urban land runoff. EPA. 670/274-096. Estados Unidos, 1974.
- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n.º 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 23p., 2005.
- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n.º 020/86. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. 17p. 1986.
- CONSOL Engenheiros Consultores. Projeto de urbanização do Condomínio Vale dos Cristais. Belo Horizonte, 2004.
- COPAM/MG. Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais. Resolução n.º010/86. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de águas, e dá outras providências. 18p., 1986.
- CSD. Programme of work on indicators for sustainable development of the Commission on Sustainable Development. Report of the Secretary-General to the CSD on the Chapter 40 of Agenda 21. Information for the Decision-Making (E/CN.17/1995/18). Washington, Estados Unidos. 42p., 1995.

- DAYWATER. Report 5.1. Review of the use of stormwater BMPs in Europe. Disponível em [www.daywater.org](http://www.daywater.org), 98p., 2003.
- DECHESNE, M.; BARRAUD, S.; BARDIN, J-P. Spatial distribution of pollution in an urban stormwater infiltration basin. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol.72, pp. 189-205, 2004a.
- DECHESNE, M.; BARRAUD, S.; BARDIN, J-P. Indicators for hydraulic and pollution retention assessment of stormwater infiltration basins. *Journal of Environmental Management*. Vol. 71, pp.371-380, 2004b.
- DECHESNE, M. Connaissance et modélisation du fonctionnement des bassins d'infiltration d'eaux de ruissellement urbain pour l'évaluation des performances technique et environnementale sur le long terme. Tese de doutorado. INSA de Lyon. Lyon, França. 275p. + anexos, 2002.
- DESBORDES, M. Principales causes d'aggravation des dommages dus aux inondations par ruissellement superficiel en milieu urbanisé. *Bulletin Hydrologie Urbaine SHF n° 04* pp2-10. Paris, França. 1989.
- DETWILLER, J. Incidence possible de l'activité industrielle sur les précipitations à Paris. *The urban climates*, WMO Tech. Note 108. pp.361-362, 1970.
- DIAKOULAKI, D.; KARANGELIS, F. Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2006. No prelo.
- DISTRITO FEDERAL. Lei Distrital n.º 2.725/2001. Institui a Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal, cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Distrito Federal e dá outras providências. 13p., 2001.
- ELLIS, B. J.; MARSALEK, J.; CHOCAT, B. Urban water quality. Chapter 97, vol. 2, pp.1479-1491. *In* Anderson, M.G. (ed.), *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido, 2005.
- ELLIS, J. B.; HVITED-JACOBSEN, T. Urban drainage impacts on receiving waters. *Journal of Hydraulic Research*. Vol. 34. n°6 pp.771-784, 1996.
- ELLIS, J. B. *Quality Issues Proceedings CONFLO 92: Integrated catchment planning and source control*. Oxford, Reino Unido, 1992.
- ESPÍRITO SANTO. Lei Estadual n.º 5.818/98. Estabelece normas gerais sobre a Política de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo. 28p., 1998.
- FACH, S.; GEIGER, W. F. Effectiveness of the pollutant retention capacity of permeable pavements to road runoffs. Lyon, França. Novatech 2004. Vol. 1. pp.795-802, 2004.
- GAUTIER, A. Contribution à la connaissance du fonctionnement d'ouvrages d'infiltration d'eau de ruissellement pluvial urbain. Tese de Doutorado : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Lyon, França, 208p, 1998.
- GEERSE, J. M. U.; LOBBRECHT, A. H. Assessing the performance of urban drainage systems: 'general approach' applied to the city of Rotterdam. *Urban Water*. Vol.4. pp.199-209, 2002.
- GENERINO, R. C. M.; CORDEIRO NETTO, O. M. Métodos multicritério Electre. Texto de disciplinas do mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos do departamento de engenharia civil e ambiental da Universidade de Brasília. Brasília. 13p., 1999.

- GOBETTI, L. E. C. Análise multiobjetivo aplicada ao planejamento de sistemas de recursos hídricos. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 132p., 1993.
- GOIÁS. Lei Estadual n.º 13.123/97. Estabelece normas de orientação à política estadual de recursos hídricos, bem como ao sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos. 27p., 1997.
- GOMES, L. F. A.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos – Introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão.** Ed. Thomsom. São Paulo, Brasil. 161p., 2004.
- HARADA, A. L. Metodologias para a seleção de soluções para 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., 1999.
- HARADA, A. L.; CORDEIRO NETTO, O. M. Métodos Multicritério de auxílio à decisão. Texto de disciplinas do mestrado em tecnologia ambiental e recursos hídricos do departamento de engenharia civil e ambiental da Universidade de Brasília. Brasília. 13p., 1999.
- HARES, R. J.; WARD, N. I. Comparison of the heavy metal content of motorway stormwater following discharge into wet biofiltration and dry detention pond along the London Orbital (M25) motorway. *The Science of the Total Environment*, 235 (1-3), pp. 169-178, 1999.
- HENRIQUES, A. G.; WEST, C. A.; PIO, S. Diretiva-Quadro da água: um instrumento integrador da política da água da união européia. Congresso da Água do ano 2000. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Portugal, 19p., anais eletrônicos, 2000.
- HIBBERT, A. R. Forest treatment effects on water yield. In: SOPPER, W. E.; LULL, H. W. (Ed.) *Int. Simp. For. Hydrol.*, Pergamon, Oxford, 813p, 1967.
- HÜTTER, U.; REMMLER, F. Stormwater infiltration at a site with critical subsoil conditions: investigation of soil, seepage water and groundwater. *Proceedings of the Seventh International Conference on Urban Storm Drainage*. Hannover, Alemanha. Volume II, pp. 713-718, 1996.
- HWANG, C.; YOON, K. Multiple attribute decision making: methods and applications survey. Springer. 1981.
- IAURIF. L'eau, la ville et l'urbanisme. Cahiers de l'IAURIF. França. Vol. 116. 1997.
- IBGE. Censo Demográfico Brasileiro, 2000.
- IDE, C. Qualidade da drenagem pluvial urbana. Dissertação de mestrado. Curso de pós-graduação em recursos hídricos e saneamento da UFRGS. Porto Alegre, 137p., 1984.
- IGAM. Portaria Administrativa IGAM nº010/1998. Altera a redação da Portaria nº030/1993, de 07 de junho de 1993. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em [www.igam.mg.gov.br](http://www.igam.mg.gov.br). 1993.
- JACOPIN, C. Contribution à la gestion des rejets urbains de temps de pluie par les bassins de retenue. Tese de Doutorado. Université de Montpellier II. Montpellier, França, 293p. + anexos, 1999.
- KELMAN, J. Gerenciamento de recursos hídricos: Outorga e Cobrança. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Vitória, ES. 1997.

- KOLSKY, P; BUTLER, D. Performance indicators for urban storm drainage in developing countries. *Urban Water*. Vol. 4. pp.137-144, 2002.
- KONDRATYEV, S.; GRONSKAYA, T.; IGNATIEVA, N.; BLINOVA, I.; TELESH, I.; YEFREMOVA, L. Assessment of present state of water resources of Lake Ladoga and its drainage basin using Sustainable Development indicators. *Ecological Indicators*. Vol.2. pp.79-92, 2002.
- KUILCHING, G. The relation between the rainfall and the discharge of sewers in populous districts. *ASCE*. Vol 120. Estados Unidos. pp.1-56, 1889.
- LEDOUX, B. Les catastrophes naturelles em France. Document Payot. França. 1995.
- LICHFIELD, N.; KETTLE, P. WHITBREAD, M. **Evaluation in the planing process**. Oxford: Pergamon. 1975.
- LLOYD-DAVIES, D. E. The elimination of storm water from sewerage systems. *Institution of Civil Engineers*. Vol. 164. Reino Unido. pp.41-67, 1906.
- MAGLIONICO, M.; POLLICINO, F. Experimental Analysis of the build-up of pollutants on an urban road surface. Lyon, França. *Novatech 2004*. Vol. 1. pp.745-752, 2004.
- MALARD, F.; DATRY, T.; BOUGER, G.; GIBERT, J. The use of multilevel wells and multi-parameter loggers for monitoring groundwater quality below stormwater infiltration basins. Lyon, França. *Novatech 2004*. Vol. 1. pp.713-720, 2004.
- MALMQVIST, P. A.; HARD, S. Groundwater quality changes caused by stormwater infiltration. *Proceedings of the Second International Conference on Urban Storm Drainage*. Urbana-Champaign, Estados Unidos. Volume II, pp. 89-97, 1981.
- MARANHÃO. Lei Estadual n.º 8.149/2004. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos e dá outras providências. 13p., 2004.
- MARTIN, C.; RUPERD, Y.; LEGRET, M. Urban storm drainage management : The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. *European Journal of Operational Research*. 2006. No prelo.
- MATO GROSSO. Lei Estadual n.º 6.945/1997. Dispõe sobre a Lei de Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. 20p., 1997.
- MATO GROSSO DO SUL. Lei Estadual n.º 2.406/2002. Institui a Política Estadual dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e dá outras providências. 18p., 2002.
- MATOS, R.; CARDOSO, A.; ASHLEY, R.; DUARTE, P.; MOLINARI, A.; SCHULZ, A. **Performance indicators for wastewater services**. Manual of best practice series, IWA Publishing, Londres, Reino Unido. 174p., 2003.
- MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SIMOS, J. **Méthodes multicritères Electre: description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale**. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Suíça. 323p., 1994.
- MC QUEEN, D.; NOAK, H. Health promotion indicators: current status, issues and problems. *Health Promotion*. pp.117-125, 1988.
- MELACHRINOUDIS, E.; XANTHOPULOS, X. A maximum Lp distance problem. *Journal of mathematical analysis and applications*. Vol. 217. pp.650-671, Artigo número AY975748, 1998.

- MERAD, M. M.; VERDEL, T.; ROY, B.; KOUNIALI, S. Use of multi-criteria decision-aids for risk zoning and management of large area subjected to mining-induced hazards. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Vol.19, pp.125-138, 2004.
- MILANO, V.; PAGLIARA, S.; DELLACASA, F. Runoff pollution removal by storage basins. Lyon, França. Novatech 2004. Vol. 2. pp.1517-1524, 2004.
- MILOGRANA, J. 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., 2001.
- MINAS GERAIS. Lei Estadual n.º 13.199/99. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e da outras providências. 18p., 1999.
- MISHAN, E. J. **Cost-benefit analysis: an informal introduction**. George Allen & Union Ltd. Londres, Reino Unido. 1975.
- MOLDAN, B.; BILHARZ, S. (Ed.) **Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development**. Ed John Wiley & Sons. Chichester, Reino Unido. 415p., 1997.
- MONTANARI, R. Environmental efficiency analysis for enel thermo-power plants. *Journal of Cleaner Production*. Vol.12 pp.403-414, 2004.
- MOREIRA-NORDEMANN, L. M. et al. Análise química preliminar das águas de chuva de Cubatão - impactos ambientais. In: Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos 5. Anais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Blumenau, vol 3, pp.339-350, 1983.
- MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. Comparison between two methodologies for urban drainage decision aid. 10<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage, Copenhagen, Dinamarca, anais eletrônicos, 2005.
- MOURA, P. M. Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 164p., 2004.
- MOUSSEAU, V.; SLOWINSKI, R.; ZIELNIEWICZ, P. Electre TRI 2.0a-Methodological guide and user's manual. LAMSADE, Université Paris Daphine, Paris, França. 70p., 1999.
- NEWTON, D.; JENKINS, G.; PHILLIPS, I. Design of conjunctive pervious/impervious pavement systems for optimal stormwater management performance. Novatech 2004. Vol. 1. pp. 779-786. Lyon, França. 2004.
- NIGHTINGALE, H. I. Water quality beneath urban runoff water management basins. *Water Resources Bulletin*, Vol. 23 n°2 pp.197-205, 1987.
- NOVOTNY, V.; CHESTERS, G. **Handbook of non-point pollution: sources and management**. Van Nostrand-Reinhold, Nova York, Estados Unidos. 555p. 1981.
- OECD – Organization for Economic Cooperation and Development. Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the group on the state of the environment. OECD. Paris, França. 1993.
- OFWAT – Water Services Regulation Authority of England and Wales.; EA – Environment Agency of England and Wales. Development of enhanced serviceability indicators for sewerage assets. Final Report. Londres, Reino Unido. 44p + anexos, 2001.

- ORTOLANO, L. **Environmental regulation and impact assessment**. Ed. John Wiley & Sons inc. 604p., 1997.
- PAGOTTO, C. Etude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier. Tese de Doutorado. Université de Poitiers. Poitiers, França, 252p. + anexos. 1999.
- PARÁ. Lei Estadual n.º 6.381/2001. Dispõe Sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. 25p., 2001.
- PARAÍBA. Lei Estadual n.º 6.308/96. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências. 11p., 1996.
- PARANÁ. Lei Estadual n.º 12.726/99. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. 23p., 1999.
- PDDU Belo Horizonte. Metodologia adotada nos estudos hidrológicos e hidráulicos. Anexo 1. 51p., 2003.
- PERNAMBUCO. Lei Estadual n.º 11.426/97. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Plano Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. 19p., 1997.
- PIAUI. Lei Estadual n.º 5.165/2000. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. 29p., 2000.
- POMEROL, J. C.; BARBA-ROMERO, S. **Choix multicritère dans l'entreprise: principe et pratique**. Paris: Hermes. 390p., 1993.
- PORTO, M. F. A. Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. pp.387-428. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Editora da UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 428p. 1995.
- PORTO, R. L. Escoamento Superficial Direto. pp.107-165. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Editora da UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 428p. 1995.
- RAIMBAULT, G.; BALADES, J. D.; FAURE-SOULET, A. Quatre expérimentations françaises de chaussées poreuses. Bulletin de liaison du laboratoire des Ponts et Chaussées, n°137. Paris, França. pp. 43-55. 1985.
- RATHNAM, E. V.; CHEERALAIAH, N.; JAYAKUMAR, K. V. Dynamic programming approach for optimisation of stormwater detention ponds in multiple catchment system. Novatech 2004. Vol. 2. pp. 1075-1080. Lyon, França. 2004.
- RIBEIRO, J. C. J. Desenvolvimento de modelo para avaliação de desempenho de política pública de meio ambiente: estudo de caso: Estado de Minas Gerais. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos da Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte. 320p., 2005.
- RIO DE JANEIRO. Lei Estadual n.º 3.239/1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos; regulamenta a Constituição Estadual, em seu artigo 261, parágrafo 1º, inciso VII; e dá outras providências. 26p., 1999.

- RIO GRANDE DO NORTE. Lei Estadual n.º 6.908/96. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integradas de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH e dá outras providências. 8p., 1996.
- RIO GRANDE DO SUL. Lei Estadual n.º 10.350/94. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. 15p., 1994.
- RONDÔNIA. Lei Complementar n.º 255/2002. Institui a Política, cria o Sistema e Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia e dá outras providências. 19p., 2002.
- ROSSI, L. Qualité des eaux de ruissellement urbaines. Tese de Doutorado. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne, Suíça, 313p. + anexos, 1998.
- ROY, B.; SLOWINSKI, R.; TREICHEL, W. Multicriteria programming of water supply systems for rural areas. Water Resources Bulletin, vol. 28, nº1, 1992.
- ROY, B. Méthodologie muticritère d'aide à la decision, Economica, Paris, 423p., 1985.
- ROY, B.; BOUYSSOU, D. Comparison of two decision-aid models applied to a nuclear power plant sitting example. Cahier du Lamsade, nº47. Paris, França. 35p, 1983.
- ROY, B. Electre III: un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critère multiple. Cahier du CERO, vol. 20, nº1. Paris, França. pp.3-24, 1978.
- SAGET, A. Base des données sur la qualité des rejets urbains de temps de pluie : distribution de la pollution rejetée, dimension des ouvrages d'interception. Tese de Doutorado. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et CERGRENE. Paris, França 333p. 1994.
- SAHIN, V.; HALL, M. J. The effects of afforestation and deforestation on water yields. Journal of Hydrology 178, 293-309, 1996.
- SANTA CATARINA. Lei Estadual n.º 9.748/94. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. 14p., 1994.
- SANEAGO. Consulta ao site da Saneamento de Goiás S/A em 24/05/2006. <http://www.saneago.com.br>. Internet. 2006.
- SÃO PAULO. Lei Estadual n.º 7.663/91. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 17p., 1991.
- SCHLÜTER, W.; JEFFERIES, C. Modelling the outflow from a porous pavement. Urban Water. Elsevier Science Ltd. Volume 4. pp.245-253, 2002.
- SERGIPE. Lei Estadual n.º 3.595/95. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. 17p., 1995.
- SILVA, G. B. L. Avaliação Experimental Sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD-01/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 180p., 2006.
- SILVEIRA, A. L. L. Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre. pp. 153-164. In: TUCCI, C. E. M. e MARQUES, D. M. L. M. (Org) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 558p., 2000a.



- SILVEIRA, A. L. L. Provável efeito urbano nas relações IDF das chuvas de Porto Alegre. pp. 129-152. In: TUCCI, C. E. M. e MARQUES, D. M. L. M. (Org) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 558p. 2000b.
- SIMOS, J. **Evaluer l'impact sur l'environnement: une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation**. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Suíça. 261p., 1990.
- SISKOS, J.; HUBERT, P. Multicriteria analysis of the impacts of energy alternatives: a survey and a new comparative approach. *European Journal of Operational Research*. Vol. 13, pp.278-299, 1983.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2004. Disponível em <http://www.snis.gov.br> 124p., 2004.
- SOUZA, V. C. B. Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 127p. + anexos, 2002.
- SOUZA, V. C. B.; GOLDENFUM, J. A. Analyse critique des données obtenues sur deux tranchées d'infiltration fonctionnant en climat subtropical. *Novatech 2004*. Lyon, França. Vol. 2. pp.1501-1508, 2004.
- SRDJEVIC, B.; MEDEIROS, Y. D. P.; FARIA, A. S. An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water Management Scenarios. *Water Resources Management*. Vol.18, pp.35-54, 2004.
- STRAGER, M. P.; ROSEMBERGER, R. S. Incorporating stakeholder preferences for land conservation: Weights and measures in spatial MCA. *Ecological Economics*. Vol. 57, pp.627-639, 2006.
- STU. **Réconcilier l'Eau et la Ville para la Maîtrise des Eaux Pluviales**. Les Editions du STU. Paris, França. 64 p. 1991.
- STU ET AGENCES DE L'EAU. **Guide Technique des Bassins de Retenue d'Eaux Pluviales**. Technique et Documentation. Ed. Lavoisier. Paris, França. 276 p. 1994.
- TAYLOR, A. Guidelines for evaluating the financial, ecological and social aspects of urban stormwater measures to improve waterway health. Technical Report. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Austrália. 77p. + anexos, 2005.
- THOMACHOT, M. Quelques exemples d'assainissement des eaux pluviales routières et autoroutières par bassins et puits absorbants em région Ile de France. Villeurbanne: Communications du colloque national "Connaître le sous-sol: un atout pour l'aménagement urbain". Paris, França. pp 1047-1059. 1979.
- TOCANTINS. Lei Estadual n.º 1.307/2002. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e adota outras providências. 17p., 2002.
- TUCCI, C. E. M. (2003) – Vazões Médias. In: PAIVA, J. B. D., PAIVA, E. M. C. D. (ORG) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Finep. ABRH. 628p. 2003.
- TUCCI, C. E. M. ; BERTONI, J. C. (Org). **Inundações urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 471p. 2003.
- TUCCI, C. E. M. Estimativa do volume para controle da drenagem no lote. pp.395-401. In: TUCCI, C. E. M. e MARQUES, D. M. L. M. (Org) **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 558p. 2000.

- TUNSTALL, D. Developing and using indicators of sustainable development in Africa. Thematic workshop on indicators of sustainable development. Banjul, Gâmbia. 1994.
- TUNSTALL, D. Developing environmental indicators: definitions, framework and issues. Workshop on global environmental indicators. Washington D. C., Estados Unidos. 1992.
- URBONAS, B.; STAHRÉ, P. **Stormwater: best management, practices and detention for water quality drainage, and CSO management.** Prentice Hall. Englewood Cliffs, Estados Unidos. 449 p. 1993.
- US-EPA. Preliminary data summary of urban storm water best management practices. US Environmental Protection Agency, EPA-821-R-99-012, 214p., 1999.
- VALIRON, F. ; TABUCCHI, J. P. **Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie: État de l'art.** Ed. Tech e Doc. 397p. Lavoisier. 1992.
- VETSCHERA, R. (2005). Multiple criteria in management. Notas de aula de disciplina de análise multicritério da Universidade de Viena, Áustria. Disponível em <http://www.univie.ac.at> conforme consulta realizada em 18/10/2006. 42p., 2005.
- VINCKE, P. **L'aide muticritère à la décision.** Éditions de l'Université de Bruxelles. Bruxelas, Bélgica. 179p., 1989.
- VON SPERLING, M. Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 3 – Nº 1. pp.111-132, 1998.
- VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ª Ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, Belo Horizonte, 243p., 1996.
- WEIBEL, S. R.; ANDERSON, R. J.; WOODWARD, R. L. Urban land runoff as a factor in stream pollution. Journal of water pollution control federation. Washington, Estados Unidos. V.36 nº7. pp.914-924. 1964.
- WISNER, P. **Introduction à l'hydrologie urbaine.** Université d'Ottawa et École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne, Suíça. 1984.
- YU, W. Electre TRI: Aspects méthodologiques el manuel d'utilisation. Document du Lamsade, nº74. Paris, França. 80p., 1992a.
- YU, W. Aide multicritère a la décision dans le cadre de la problématique du tri : concepts, méthodes et applications. Tese de Doutorado. Université Paris-Dauphine. Paris, França. 1992b.
- ZENG, G.; JIANG, R.; HUANG, G.; XU, M.; LI, J. Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. Journal of Environmental Management. 2006. No prelo.

## APÊNDICE I

### Especialistas que responderam os questionários encaminhados

#### 1- Pesquisadores:

- Ademir Paceli Barbassa (Universidade Federal de São Carlos - UFSCar);
- César Augusto Pompêo (Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC);
- Cícero Onofre de Andrade Neto (Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN);
- Joel Avruch Goldenfum (Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS);
- Jussanã Milograna (Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – CEFET-GO).

#### 2- Representantes de órgãos gestores de recursos hídricos:

- André Raymundo Pante (Agência Nacional de Águas - ANA);
- Célia Maria Brandão Fróes (Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM-MG);
- Célia Regina Bueno Palis Poeta (Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo – SMA-SP);
- Leila Gomes (Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE-SP);
- Marcelo Garcia Miranda Diniz (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA-ES);
- Marília Carvalho de Melo (Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM-MG);
- Nice Maria da Cunha Cavalcanti (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH-CE);
- Paulo Miranda Pereira (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – COGERH-CE);
- Roger Henrique de Oliveira Souza (Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA-DF);
- Vera Lúcia Lopes de Castro (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte – SERHID-RN).



## APÊNDICE II

### Questionário para avaliação de indicadores da sustentabilidade de urbanização

#### 1- INTRODUÇÃO

A urbanização e os sistemas de drenagem podem provocar alterações na quantidade, qualidade ou regime dos corpos de água localizados em sua área de influência. Nesse contexto, o presente trabalho de pesquisa tem como objetivo geral a proposição de indicadores de sustentabilidade para avaliação do desenvolvimento urbano. Caso verificada a pertinência dos indicadores, eles devem integrar metodologia de análise de pedidos de outorga ou outras avaliações ambientais para urbanização e drenagem.

Foram propostos indicadores relacionados com as alterações na quantidade, qualidade ou regime dos corpos de água, baseados em parâmetros de análise essenciais para a área urbanizada. Eles foram estudados para serem calculados por meio de expressões de cálculo matemático, reduzindo o caráter de subjetividade em sua avaliação. As expressões propostas objetivaram a utilização de parâmetros de obtenção direta por meio de estudos hidráulicos ou hidrológicos em função do desenvolvimento urbano proposto ou existente.

Posteriormente, ainda na mesma pesquisa, esses indicadores serão validados em estudos de casos reais de projetos de urbanização. Essa análise será realizada a partir de métodos de análise multicritério, de forma a agregar valores e pesos aos indicadores. Pretende-se que o resultado final permita uma avaliação da sustentabilidade da área a ser urbanizada quanto às suas interferências nos recursos hídricos.

Para a execução desse trabalho é importante a determinação da pertinência e da importância relativa de cada indicador. Nesse sentido, estão sendo consultados especialistas representantes de autoridades outorgantes e de entidades de pesquisa, como participantes do processo decisório, para a determinação dos indicadores considerados pertinentes e atribuição de pesos a cada um deles.

Sendo assim, solicitamos o preenchimento da Tabela de atribuição de pesos dos indicadores. É apresentada, ainda, uma breve descrição de cada um deles.

## Planilha para preenchimento da avaliação da pertinência e dos pesos referentes aos indicadores propostos

Nome: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

Local de trabalho: \_\_\_\_\_

<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>	<b>Peso Critério(*)</b>	<b>Peso Indicador(*)</b>	<b>Observações</b>
<b>Alterações na Quantidade das Águas</b>	Comparação do volume de infiltração de projeto em relação à situação natural ou à situação desejável			
	Comparação das vazões mínimas escoadas com as demandas para usos consuntivos e vazão mínima remanescente			
	Verificação da previsão de reutilização ou recuperação de águas			
<b>Alterações no Regime dos Corpos de Água</b>	Comparação da vazão de pico proporcionada pela área urbanizada com a situação natural ou desejável			
	Comparação da vazão de pico com a que causa inundação a jusante			
	Verificação do período de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto			
<b>Alterações na Qualidade das Águas</b>	Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário			
	Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de esgotamento sanitário			
	Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de escoamento pluvial			
	Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de escoamento pluvial			
<b>Somatória dos Pesos</b>		<b>100</b>	<b>100</b>	<b>-</b>

(\*) Atribuição de Pesos: recomenda-se a definição dos pesos para cada um dos critérios e, posteriormente, que esses pesos sejam divididos entre os indicadores propostos, totalizando um valor igual a 100.

Observações em relação aos indicadores (pertinência, ausência de indicador relevante, etc):

---



---

## **2- ALTERAÇÕES NA QUANTIDADE DAS ÁGUAS**

### **2.1- Comparação do volume de infiltração de projeto em relação à situação natural ou à situação desejável**

Este indicador relaciona o volume previsto de infiltração médio anual para o projeto em estudo com o volume de infiltração médio da área em seu estado natural. O resultado das expressões de cálculo propostas indica que, quanto mais próximo o volume infiltrado da área urbanizada for do mesmo parâmetro em seu estado natural, melhor será a pontuação da alternativa de projeto na avaliação para esse indicador. Valores de infiltração superiores à situação natural são considerados também positivos. No caso de áreas urbanizadas em que não é possível infiltrar volume correspondente ao natural, ele deve ser substituído por um volume desejável.

### **2.2- Comparação das vazões mínimas escoadas com as demandas para usos consuntivos e vazão mínima remanescente**

Este indicador tem a finalidade de avaliar o projeto quanto às alterações quantitativas, relacionando a disponibilidade de vazões mínimas para atendimento aos usos consuntivos na área e, ainda, para manutenção de vazão remanescente mínima, incluindo as demandas de vazão ecológica e comprometida para usos consuntivos a jusante. O valor máximo para esse indicador é assumido quando essas vazões são atendidas. Para outros valores, são previstas expressões de cálculo levando a valores inferiores do indicador.

### **2.3- Verificação da previsão de reutilização ou recuperação de águas**

O presente indicador tem a finalidade de verificação do projeto quanto à previsão de sistemas de recuperação ou reutilização de águas. A recuperação ou reutilização de águas na área de projeto pode ser prevista em nível de parcela (como recuperação de águas pluviais para rega de jardim ou limpeza de pátios), em nível de indústrias (reuso de águas tratadas de esgotamento sanitário) e como reuso pela prefeitura ou pelo responsável pela área em projeto (limpeza de áreas públicas). As expressões propostas para o cálculo deste indicador levam a maiores valores em função da maior previsão de reuso ou recuperação de águas.

## **3- ALTERAÇÕES NO REGIME DOS CORPOS DE ÁGUA**

### **3.1- Comparação da vazão de pico proporcionada pela área urbanizada com a situação natural ou desejável**

Este indicador relaciona a vazão de pico máxima estimada da área a ser urbanizada com a vazão de pico da área em sua situação natural com o mesmo tempo de retorno. Propõe-se que, quanto mais próxima da vazão de pico na situação natural, melhor será considerada a alternativa de projeto. As expressões matemáticas propostas levam a valores inferiores para esse indicador no caso de vazões de pico de projeto superiores ou inferiores à vazão de pico da área na situação natural, em função das perturbações causadas ao regime dos corpos de água. Em áreas já urbanizadas em que a vazão de

pico na situação natural não é mais possível de ser atingida, deve ser buscada uma vazão desejável.

### **3.2- Comparação da vazão de pico com a que causa inundação a jusante**

Este segundo indicador proposto para a avaliação das alterações de regime dos corpos de água relaciona a vazão de pico máxima para a área urbanizada para o tempo de retorno de projeto com a vazão máxima que pode causar inundação em alguma área a jusante, para o mesmo tempo de retorno. O indicador assume valor máximo quando a vazão de pico para o tempo de retorno de projeto for inferior à vazão que poderia provocar inundação. Para vazões superiores, são propostas expressões de cálculo que levam a valores inferiores do indicador.

### **3.3- Verificação do período de retorno previsto para inundações dentro da área de projeto**

O sistema de drenagem proposto para um projeto de desenvolvimento urbano, além de não incrementar processos de inundação existentes em áreas a jusante, deve prever a proteção da área de projeto quanto às inundações previstas com determinado período de retorno. Assim, as estruturas previstas no referido projeto devem estar adequadamente dimensionadas, conforme períodos de retorno desejáveis. Nesse sentido, o dimensionamento das estruturas propostas para a drenagem do sistema proposto deve ser verificado pelo analista de acordo com a proteção da área para tempos de retorno desejáveis. O indicador assume valor máximo quando as estruturas propostas estiverem adequadamente dimensionadas para períodos de retorno iguais ou superiores ao desejável. Nos outros casos, são propostas expressões de cálculo que levam a valores inferiores do indicador.

## **4- ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DAS ÁGUAS**

### **4.1- Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de esgotamento sanitário**

Para analisar as possíveis alterações causadas pela urbanização na qualidade dos corpos existentes na área, o primeiro indicador proposto se refere à verificação do padrão de lançamento previsto para as águas de esgotamento sanitário. Segundo disposto na Resolução CONAMA n° 357/2005, os lançamentos devem obedecer às condições, padrões e exigências, de forma a não alterar os padrões de qualidade em que o corpo de água receptor estiver enquadrado. Com as expressões propostas para o cálculo do presente indicador, quanto melhor a qualidade prevista das águas de esgotamento sanitário a serem lançadas nos corpos de água, em relação ao padrão de legislação, melhor será o valor do indicador.

### **4.2- Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de esgotamento sanitário**

Conforme estabelecido na Resolução CONAMA n° 357/2005, os lançamentos de efluentes de qualquer finalidade de uso da água, em corpos de água, devem ser



verificados quanto à disponibilidade de vazão de diluição para que o padrão de qualidade das águas não ultrapasse aquele determinado para sua classe de enquadramento. Nesse sentido, na urbanização de uma área, o presente indicador trata da verificação do lançamento das águas de esgotamento sanitário quanto a esse critério. Para o cálculo desse indicador, foram propostas expressões de forma que os melhores valores serão obtidos com as menores relações entre a vazão de diluição e a disponibilidade hídrica existente nos mananciais da região previstos como corpos receptores dos lançamentos das águas de esgotamento sanitário.

#### **4.3- Verificação do atendimento ao padrão de lançamento das águas de escoamento pluvial**

Dependendo das estruturas previstas em determinada área urbanizada e dos seus sistemas de drenagem, a qualidade das águas pluviais escoadas em meio urbano pode ter grandes variações em seus parâmetros. O presente indicador visa a verificação quanto ao padrão de lançamento das águas pluviais, a ser definido em legislação. Dessa forma, o presente indicador assume maiores valores quanto melhores forem as relações entre a qualidade das águas lançadas e o limite permitido pelo ato legal correspondente.

#### **4.4- Verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição para as águas de escoamento pluvial**

Uma vez que as águas de escoamento pluvial podem ter variações na concentração dos parâmetros poluentes, devem ser verificadas também quanto à disponibilidade de vazão de diluição nos corpos de água em que serão lançadas, sem alteração em sua classe de enquadramento. Com esse fim, o presente indicador relaciona as vazões de diluição necessárias para as águas pluviais com a disponibilidade hídrica existente nos corpos de água previstos para serem seus receptores. Uma vez que os lançamentos de águas pluviais ocorrerão apenas no período chuvoso, as vazões de referência a serem calculadas devem considerar apenas as vazões dos corpos de água nesses períodos. Os maiores valores para o presente indicador serão obtidos quanto melhores forem as relações entre as vazões de diluição necessárias para as águas pluviais e a disponibilidade hídrica dos corpos de água receptores, calculada a partir das vazões de referência no período chuvoso.

No caso de sistemas unitários de esgotamento sanitário e pluvial, na concentração dos efluentes a serem lançados no período chuvoso, deverão ser considerados os poluentes referentes aos dois sistemas. E a verificação quanto à disponibilidade de vazão de diluição deve ser realizada quanto à qualidade do efluente advindo do sistema de esgotamento sanitário e pluvial.