

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM GESTÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS: SIMULAÇÃO PARA AS BACIAS  
DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ**

**RAQUEL DE SOUZA POMPERMAYER**

CAMPINAS  
FEVEREIRO DE 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM GESTÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS: SIMULAÇÃO PARA AS BACIAS  
DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ**

Dissertação submetida à banca examinadora para  
a obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Agrícola na área de concentração em Água e Solo.

**RAQUEL DE SOUZA POMPERMAYER**

**Orientador: Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Júnior**

CAMPINAS  
FEVEREIRO DE 2003

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P772a Pompermayer, Raquel de Souza  
Aplicação da análise multicritério em gestão de recursos hídricos: simulação para as bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá / Raquel de Souza Pompermayer.--Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Durval Rodrigues de Paula Júnior.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Bacias hidrográficas. 2. Recursos hídricos - Desenvolvimento. 3. Indicadores. I. Paula Júnior, Durval Rodrigues. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

## **Dedicatória:**

Aos meus pais  
Ao meu esposo  
À Marina e à Flávia

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Júnior, pela confiança depositada, incentivo e orientação.

Aos professores, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial o Prof. Dr. José Teixeira Filho, a Luciana e o Rogério.

Aos professores e colegas do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (UNB), em especial o Prof. Dr. Oscar de Moraes Cordeiro Netto.

À FAPESP, pelo apoio financeiro.

À Unicamp, pelo acolhimento e infra-estrutura.

Às demais pessoas e instituições, que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

# Sumário

<b>RESUMO .....</b>	<b>VI</b>
---------------------	-----------

<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VII</b>
-----------------------	------------

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
-------------------------------	-------------

<b>LISTA DE QUADROS .....</b>	<b>IX</b>
-------------------------------	-----------

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
----------------------------	----------

1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TRABALHO .....	2
1.3 A PROBLEMÁTICA DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	4

<b>2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
--	----------

2.1 OBJETIVO GERAL .....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6

<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>7</b>
---------------------------------------	----------

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	7
3.2 URBANIZAÇÃO E SUAS IMPLICAÇÕES SOBRE O MEIO AMBIENTE .....	8
3.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECURSOS HÍDRICOS .....	9
3.4 ASPECTOS POLÍTICOS E LEGAIS DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL .....	14
3.4.1A Lei Federal 9.433/97 .....	16
3.4.2A Lei 7.663/91 - do Estado de São Paulo .....	18
3.5 EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS EM GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	19
3.6 PLANEJAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	21
3.7 PLANEJAMENTO E GESTÃO DA DISPONIBILIDADE E DA QUALIDADE HÍDRICA .....	22
3.8 MÉTODOS E FERRAMENTAS DE SUPORTE À DECISÃO NA ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS ...	23
3.8.1 Métodos baseados na “Programação Matemática Multiobjetivo” .....	24
3.8.2 Métodos baseados na Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) .....	26
3.8.3 Métodos baseados nas aproximações de desagregação de preferências .....	28
3.8.4 Métodos baseados nas aproximações hierárquicas .....	28

<b>4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>34</b>
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	34
4.2 FORMAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	35
4.3 SELEÇÃO DE UMA PROPOSTA DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE .....	37
4.4 DEFINIÇÃO DE CATEGORIAS DE AÇÕES PRIORITÁRIAS .....	38
4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO .....	38
<b>5. DIAGNÓSTICO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>42</b>
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	42
5.2 ASPECTOS FÍSICOS E SÓCIOECONÔMICOS.....	43
5.2.2 Aspectos Demográficos .....	47
5.2.3 Uso e ocupação da terra .....	48
5.3 ASPECTOS HIDROLÓGICOS .....	52
5.3.1 Disponibilidade hídrica.....	52
5.3.2 Demanda e consumo de água.....	55
5.4 QUALIDADE DA ÁGUA E FONTES DE POLUIÇÃO .....	63
5.4.1 Atendimento por coleta e tratamento de esgotos .....	63
5.4.2 Fontes de poluição doméstica .....	65
5.4.3 Fontes de poluição industrial .....	66
5.4.4 Índice de Qualidade das Águas - IQA .....	67
5.5 ENQUADRAMENTO DE CORPOS DE ÁGUA .....	71
5.6 PROGRAMA DE INVESTIMENTOS RECOMENDADO .....	72
5.6.1 Metas do Programa .....	73
5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	75
<b>6. ANÁLISE E SELEÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.....</b>	<b>76</b>
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	76
6.2 DEFINIÇÃO E FUNÇÕES DE INDICADORES.....	77
6.3. INDICADORES AMBIENTAIS NA ESTRUTURA <i>PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA</i> (PER) .....	79
6.4 A ESTRUTURA <i>PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA</i> NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	81
6.5 INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	84
6.6 DEFINIÇÃO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA O CASO ESTUDADO.....	91
<b>7. APRESENTAÇÃO DOS INDICADORES E APLICAÇÃO À ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>93</b>
7.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	93
7.2 DETERMINAÇÃO DOS INDICADORES.....	94
7.2.1 Índice de Cobertura Vegetal Natural .....	94
7.2.2 Índice de Reflorestamento .....	95
7.2.3 Vazão Específica Mínima.....	97
7.2.4 Índice de Irrigação .....	98
7.2.5 Densidade Demográfica.....	99
7.2.6 Índice de Urbanização .....	101
7.2.7 Demanda Total de Água em Relação à Disponibilidade Hídrica .....	102

7.2.8	Índice de Consumo Efetivo de Água <i>Per capita</i> .....	108
7.2.9	Índice de Atendimento por coleta de Esgotos.....	109
7.2.10	Índice de Atendimento por Tratamento de Esgotos .....	110
7.2.11	Cargas Orgânicas Remanescentes Urbana e Industrial .....	111
7.2.12	Índice de Qualidade das Águas Superficiais .....	112
7.2.13	Extensão do Curso de Água em Desacordo com o Enquadramento .....	113
<b>7.3</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DAS CATEGORIAS DE AÇÕES.....</b>	<b>115</b>
<b>7.4</b>	<b>APLICAÇÃO DO MÉTODO ELECTRE III.....</b>	<b>116</b>
7.4.1	Construção da Matriz de <i>Performances</i> .....	117
7.4.2	Definição dos parâmetros do ELECTRE III.....	120
<b>7.5</b>	<b>RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.....</b>	<b>122</b>
<b><u>8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</u></b>		<b><u>126</u></b>
<b><u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>		<b><u>129</u></b>
<b><u>ANEXO .....</u></b>		<b><u>133</u></b>

## Resumo

POMPERMAYER, Raquel S. *Aplicação da Análise Multicritério em Gestão de Recursos Hídricos: Simulação para as Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí*, Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2003, 137p. Dissertação (mestrado).

A demanda crescente e diversificada por recursos hídricos, conjugada com a falta de políticas e mecanismos eficazes de gerenciamento, tem agravado a problemática ambiental e provocado conflitos entre usuários em diversos países e regiões. Em nível nacional, a necessidade de tais mecanismos tem-se mostrado evidente em algumas regiões, como a das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, no Estado de São Paulo. A implementação de políticas e diretrizes de gestão de recursos hídricos requer instrumentos práticos e eficazes de auxílio ao processo decisório inerente. Existem várias técnicas e instrumentos de auxílio à tomada de decisão em gestão de recursos hídricos. Neste trabalho, propõe-se, como instrumento de auxílio a decisão, o uso de indicadores de sustentabilidade ambiental associado a técnicas de análise multicritério. Assim, o principal objetivo do trabalho é formular um procedimento multicritério como instrumento de auxílio à tomada de decisão na gestão de recursos hídricos e a simulação do seu uso em uma bacia hidrográfica. Com base num diagnóstico da área de estudo e em uma estrutura conceitual de indicadores denominada *Pressão-Estado-Resposta*, foram selecionados vinte indicadores de sustentabilidade. Realizou-se, então, uma classificação das sub-bacias que integram a área de estudo por ordem de preferência e/ou necessidade em relação a categorias de intervenção pré-estabelecidas. A proposta de indicadores selecionada e o método multicritério utilizado (ELECTRE III) demonstraram-se bastante adequados ao caso estudado. Os resultados obtidos indicam que o grau de preferência por determinada intervenção varia significativamente entre bacias e pode ser uma informação importante na implementação de um dado plano de ação ou programa de investimento.

*Palavras Chave: Indicadores de sustentabilidade, análise multicritério, gestão de recursos hídricos, bacia hidrográfica.*

## Abstract

POMPERMAYER, Raquel S. *Multicriteria Analysis Applied in the Water Resources Management: Application in the river basins of Piracicaba, Capivari and Jundiaí*, Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2003, 137p. Dissertação (mestrado).

The increasing and diversified demand for water resources and absence of management efficient mechanisms have been caused environmental problems and conflicts between users in several countries and regions. In Brazil, the needs for such mechanisms has been evident in some regions, such as the river basin of the *Piracicaba, Capivari e Jundiaí*, in State of São Paulo. The policy implementation of water resources management requires efficient instruments to aid the inherent decision process. There are several techniques and decision-aid instruments in water resources management. In this study, it suggests the use of environment sustainability indicators linked to multicriteria analysis. These indicators have been chosen from a framework. The aim of the study is evaluating the applicability of these instruments into the *Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 5 do Estado de São Paulo*, which correspond to the mentioned river basins. From a diagnostic of the study region and of the a framework called *Pressure-State-Response*, it has been chosen twenty sustainability indicators. Next, it has been made a ranking of the river basins that integrate the study area by preference ordering in relation to the previously chosen actions of intervention. The indicators framework proposed and the used multicriteria model (ELECTRE III) have been demonstrated suitable at the study region. The obtained results suggest that the preference degree for an intervention action changes a lot between river basins. These results can be very important information to introduce an action plan or investment program.

*Key Words: Sustainability indicators, multicriteria analysis, water resources management, river basin*

## Lista de Figuras

Figura 4.1:	Matriz de <i>performance</i> das ações.....	39
Figura 5.1:	Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (UGRHI 5) e seus principais rios.....	45
Figura 5.2:	Localização dos Pontos de Monitoramento da Qualidade das Águas .....	71
Figura 6.1:	Modelo <i>Pressão-Estado-Resposta</i> .....	80
Figura 7.1:	Índice de Cobertura Vegetal Natural .....	95
Figura 7.2:	Índice de Reflorestamento .....	97
Figura 7.3:	Vazões Específicas $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ .....	98
Figura 7.4:	Índice de Irrigação .....	99
Figura 7.5:	Densidade demográfica (Hab./km <sup>2</sup> ).....	100
Figura 7.6:	Índice de captação urbana em relação às disponibilidades hídricas $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ .....	104
Figura 7.7:	Índice captação industrial em relação às disponibilidades hídricas $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ .....	105
Figura 7.8	Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ .....	106
Figura 7.9:	Índices de captação urbana e industrial de água, consumo de água na irrigação e demanda total em relação à $Q_{7,10}$ .....	107
Figura 7.10:	Índices de captação urbana e industrial de água, consumo de água na irrigação e demanda total em relação à $Q_{95\%}$ .....	108
Figura 7.11:	Cargas poluidoras remanescentes urbana e industrial.....	112

## Lista de Quadros

Quadro 3.1:	Problemáticas decisórias de referência.....	29
Quadro 5.1:	Área da bacia (km <sup>2</sup> ) e percentual em relação a UGRHI 5 .....	43
Quadro 5.2:	Área total (km <sup>2</sup> ) e área na UGRHI 5 (km <sup>2</sup> ).....	45
Quadro 5.3:	Área de drenagem total e na UGRHI 5 em km <sup>2</sup> e percentual na UGRHI 5..	46
Quadro 5.4:	População total e urbana e taxa de urbanização (T <sub>urb</sub> ) em percentual.....	48
Quadro 5.5:	Uso e ocupação da terra na UGRHI 5 –Área (Km <sup>2</sup> ).....	50
Quadro 5.6:	Distribuição percentual das tipologias de uso e ocupação da terra.....	50
Quadro 5.7:	Principais tipologias de uso e cupação da terra relativa a área da sub-bacia (%). .....	51
Quadro 5.8:	Vazões naturais Q <sub>7,10</sub> e Q <sub>95%</sub> acumuladas e por trecho de rio.....	54
Quadro 5.9:	Vazão natural (Q <sub>n</sub> ), regularizada (Q <sub>d</sub> ), importada (Q <sub>i</sub> ), exportada(Q <sub>e</sub> ) e Disponibilidade Hídrica (Q <sub>T</sub> ) em (m <sup>3</sup> /s). .....	55
Quadro 5.10:	Captação e produção de água nos sistemas de abastecimento público(m <sup>3</sup> /s)	57
Quadro 5.11:	Consumo medido e consumo efetivo de água em m <sup>3</sup> /s.....	58
Quadro 5.12:	População atendida por abastecimento urbano e índice de atendimento .....	59
Quadro 5.13:	Demanda industrial de água na UGRHI 5 em (m <sup>3</sup> /s).....	60
Quadro 5.14:	Área cultivada e efetivamente irrigada em Km <sup>2</sup> e percentual de irrigação...	61
Quadro 5.15:	Demanda de água para irrigação e aquicultura na UGRHI5 (m <sup>3</sup> /s).....	62
Quadro 5.16:	Evolução da demanda agrícola de água (m <sup>3</sup> /s) .....	62
Quadro 5.17:	População urbana, População atendida e índice de atendimento por coleta.	64
Quadro 5.18:	População urbana, População atendida e índice de atendimento por tratamento de esgoto. ....	64
Quadro 5.19:	Carga orgânica potencial e remanescente urbana e taxa de remoção .....	65
Quadro 5.20:	Carga orgânica potencial e remanescente industrial e taxa de remoção .....	66
Quadro 5.21:	Pontos de amostragem, descrição e índice de qualidade das águas.....	68
Quadro 5.22:	Percentual da extensão e a classe de uso para o enquadramento e situação atual.....	72
Quadro 6.1:	Sumário de Indicadores sobre Recursos Hídricos .....	83
Quadro 6.2	Classificação dos indicadores segundo os percentuais de respostas – em nível local.....	86
Quadro 6.3	Classificação dos indicadores segundo os percentuais de respostas – em nível agregado.....	87
Quadro 6.4:	Sumário dos indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos...	92
Quadro 7.1:	Área de cobertura vegetal natural, área de drenagem total (km <sup>2</sup> ) e o respectivo índice .....	95
Quadro 7.2:	Área de cobertura vegetal natural, área de reflorestamento (km <sup>2</sup> ) e o respectivo índice.....	96
Quadro 7.3:	Vazão mínima Q <sub>7,10</sub> e Q <sub>95%</sub> em l/s, área (km <sup>2</sup> ) e vazão específica (l/s.km <sup>2</sup> )	97
Quadro 7.4:	Área efetivamente irrigada (km <sup>2</sup> ), área cultivada (km <sup>2</sup> ) e índice de irrigação .....	99
Quadro 7.5 :	Área (km <sup>2</sup> ), população, densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> ).....	100
Quadro 7.6:	População total, urbana e índice de urbanização .....	101

Quadro 7.7:	Captação urbana ( $m^3/s$ ), disponibilidades hídricas $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ ( $m^3/s$ ) e respectivos índices. ....	103
Quadro 7.8:	Captação Industrial e disponibilidades hídricas $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ em $m^3/s$ e respectivos índices. ....	104
Quadro 7.9:	Consumo efetivo de água ( $m^3/s$ ) e disponibilidade hídrica $Q_{7,10}$ e $Q_{95}$ ( $m^3/s$ ) e índices ....	105
Quadro 7.10:	Demanda total em relação a disponibilidade hídrica $Q_{7,10}$ .....	107
Quadro 7.11:	Demanda Total em relação a disponibilidade hídrica $Q_{95\%}$ . ....	108
Quadro 7.12:	População, consumo efetivo de água ( $m^3/ano$ ) e índice de consumo ( $m^3/hab.ano$ ). ....	109
Quadro 7.13:	População urbana e atendida e respectivo índice.....	110
Quadro 7.14:	População e Índice de Atendimento por tratamento de Esgotos.....	110
Quadro 7.15:	Carga Orgânica Remanescente (ton.DBO/ano). ....	111
Quadro 7.16:	Índice de Qualidade das Águas Superficiais.....	113
Quadro 7.17:	Extensão (%) e a classe de uso e o percentual da extensão do rio em desacordo. ....	114
Quadro 7.18:	Categorias de intervenção pré-estabelecidas.....	115
Quadro 7.19:	Matriz dos valores da avaliação do desempenho das sub-bacias em relação ao indicadores.....	119
Quadro 7.20:	Valores de referência para os limiares de preferência (p), indiferença (q) e veto (v) e pesos relativos dos indicadores ....	122
Quadro 7.21:	Classificação final das sub-bacias por categorias de intervenção.....	123

# 1. Introdução

## 1.1 Apresentação

Muito se sabe a respeito de ações potenciais de conservação dos recursos naturais, principalmente, daqueles em crescente escassez. No entanto, pouco se tem feito no sentido de evitar, num futuro próximo, sérios problemas diante das limitações desses recursos, particularmente os de natureza hídrica. Sendo assim, todo e qualquer esforço direcionado à recuperação, conservação e preservação dos recursos hídricos deve ser avaliado, para dar continuidade ao desenvolvimento econômico de forma sustentável, assegurando o bem-estar da humanidade.

Várias são as ferramentas e métodos utilizados no campo do planejamento e gestão de recursos hídricos, como instrumentos de suporte à tomada de decisão, orientadas para a gestão contínua e integrada e o uso racional desses recursos. Vários são, também, os atores e agentes que, de uma forma ou de outra, estão envolvidos nessa questão e que atuam no processo de decisão, uma vez que a utilização de recursos hídricos envolve interesses múltiplos e, às vezes, conflitantes.

Nesse contexto, procurou-se direcionar o trabalho à investigação de ferramentas de auxílio à tomada de decisão envolvendo o planejamento e gestão dos recursos hídricos, no âmbito da conservação ambiental. Para isso, selecionaram-se indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos e utilizou-se a análise multicritério, visando auxiliar os órgãos gestores de bacias hidrográficas na implementação de ações de proteção, recuperação e conservação de recursos hídricos.

Os indicadores selecionados foram desenvolvidos e avaliados segundo uma estrutura conceitual denominada *Pressão-Estado-Resposta (PER)*. Trata-se de uma metodologia

formulada pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 1993 [OCDE, 2002].

## **1.2 Contextualização do Trabalho**

Como definido no Plano Estadual de Recursos Hídricos 2000-2003 – do Estado de São Paulo, gestão de recursos hídricos é o *"conjunto de ações que visam ao aproveitamento múltiplo e racional dos recursos hídricos, com atendimento satisfatório de todos os usos e usuários, em quantidade e padrões de qualidade. Essas ações visam, ainda, controle, conservação, proteção e recuperação desses recursos, com distribuição eqüitativa dos custos entre usuários e beneficiários"* (DAEE, 2001).

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos está em fase de reformulação de seus instrumentos, para atender as exigências impostas pela Lei nº 9.433, de 7 de janeiro de 1997. Entre outros aspectos, essa lei instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, impondo uma nova abordagem à questão dos recursos hídricos. A água passa a ser focalizada como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Esse novo “modelo de gestão” dos recursos hídricos, fundamentado na gestão descentralizada e participativa, requer novos instrumentos operacionais, além do amadurecimento cultural e político da sociedade.

Novos desafios deverão ser enfrentados para que a implementação desse modelo de gestão seja viabilizado. Ou seja, para que as metas propostas por esse novo modelo sejam alcançadas, algumas diretrizes relevantes, no âmbito da *Lei das Águas*, deverão ser trilhadas. Essas diretrizes referem-se à gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade; adequação da gestão às diversidades físicas, bióticas, sócio-econômicas e demográficas da região e a articulação da gestão hídrica com a do uso da terra.

Novos desafios exigem novos enfoques para se evitar a utilização irracional dos recursos hídricos. Um deles diz respeito ao desenvolvimento institucional do setor. Apesar do avanço legal, como a criação dos comitês de bacias, por exemplo, instrumentos importantes ainda não foram regulamentados. Entre eles, a cobrança pelo uso da água, que além de promover seu uso

racional, poderá ser fonte adicional de recursos financeiros para programas de investimentos em água e esgoto e recuperação de mananciais.

Com relação a esse enfoque, ressalte-se o papel decisório dos comitês de bacias na implantação de instrumentos de planejamento e gestão dos recursos hídricos, cuja viabilização esbarra em diversos entraves de natureza econômica, financeira e político-institucional. Destaque-se, ainda, a carência de informações atualizadas, essenciais para a implementação de instrumentos de controle e racionalização do uso de recursos hídricos.

Nesse contexto, propõe-se o uso de ferramentas e métodos para auxiliar o processo de tomada de decisão em gerenciamento de recursos hídricos, como a formulação de indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos e a análise multicritério. Os indicadores de sustentabilidade foram definidos a partir de uma proposta de indicadores desenvolvida por MAGALHÃES & CORDEIRO NETTO, a qual foi desenvolvida com base na estrutura conceitual denominada *Pressão-Estado-Resposta (PER)*. Essa estrutura é universalmente reconhecida e utilizada para formular, organizar e selecionar indicadores de sustentabilidade ambiental.

Em razão da vinculação do presente trabalho com estudos realizados no âmbito de um projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), intitulado *Caracterização das Condições de Uso e Qualidade dos Recursos Hídricos no Município de Paulínia – SP* (Processo Nº 99/00411-1), definiu-se como objeto de estudo a *Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídricos nº 5 – UGRH 5*. O território da *UGRHI 5* compreende as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, no Estado de São Paulo.

Atualmente, as bacias que compreendem essa unidade encontram-se em situação bastante crítica com relação à utilização de seus recursos hídricos. Alguns fatores responsáveis por essa criticidade merecem destaque. Entre eles os seguintes: i) baixa remoção de cargas poluidoras de origem domésticas; ii) alta concentração industrial, conurbações e densidade populacional semelhante a países da Europa; iii) grandes extensões de cursos de água com qualidade degradada; iv) alto potencial de cargas poluidoras de origem industrial; e v) elevadas pressões

das demandas de água, comprometendo grande parte da disponibilidade hídrica (reversões de água da Bacia do Piracicaba para a Região Metropolitana de São Paulo – RMSP) [SRHO, 1999].

### **1.3 A Problemática da Gestão de Recursos Hídricos**

A execução de programas de investimentos em bacias hidrográficas é uma tarefa difícil. Isto porque envolvem normalmente dimensões distintas de avaliação de seus impactos e diferentes interesses, além de problemas de ordem financeira, sócio-econômica e político-institucional. Entre esses entraves destaca-se a dificuldade de se conseguir financiamentos e os investimentos mal dirigidos, além da carência de informações atualizadas.

A dificuldade em viabilizar recursos financeiros e humanos e a carência de informações atualizadas são entraves que requerem instrumentos e mecanismos capazes de orientar as decisões para a definição de como implantar as ações de intervenção (programas de investimentos). Face às limitações de recursos, esses instrumentos devem fornecer aportes para que os recursos disponíveis sejam alocados de forma eficiente. Esta alocação permite que todas as bacias hidrográficas sejam contempladas por um conjunto de ações, segundo suas necessidades. Além disso, os investimentos realizados em uma sub-bacia podem gerar benefícios às bacias a jusante.

Nesse contexto, o uso de indicadores de gestão de recursos hídricos e da análise multicritério tem por finalidade auxiliar o processo de decisão na alocação de recursos (financeiros e humanos). Esses instrumentos podem auxiliar o processo decisório, uma vez que possibilitam hierarquizar um grupo de ações prioritárias em determinada bacia hidrográfica e/ou, ainda, serem utilizados para indicar grau de necessidade de uma bacia hidrográfica em relação a outra(s), por uma determinada ação de intervenção. Face às limitações de dados e informações, definiu-se dentro dos limites e do escopo do trabalho, o uso de indicadores de sustentabilidade para classificar bacias hidrográficas por prioridades de intervenção em relação a categorias de ações pré-estabelecidas.

No caso estudado, essas ferramentas poderão, assim, dar suporte ao Comitê de Bacias Hidrográficas na execução das ações estabelecidas no *Plano de Ação* definido no âmbito do *Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição (PQA)*. É importante mencionar que o referido projeto faz parte de um amplo programa de uso racional dos recursos hídricos das bacias em estudo.

## 2. Objetivos da Dissertação

### 2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo do trabalho é formular um procedimento multicritério como instrumento de auxílio à tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, por meio do uso indicadores de sustentabilidade e da simulação do seu uso em uma bacia hidrográfica.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Reunir dados e informações que auxiliem a escolha e a ponderação de parâmetros na avaliação do grau de preferência ou necessidade de uma bacia hidrográfica por determinada medida de uso racional de seus recursos hídricos;
- Definir indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos a partir de um conjunto de dados e informações consistentes e de uma estrutura conceitual de formulação de indicadores;
- Avaliar a aplicabilidade dos indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos, selecionados a partir da estrutura conceitual de indicadores, denominada *pressão-estado-resposta*;
- A partir de um conjunto de ações de intervenção pré-definidas (programas de investimentos), classificar as bacias hidrográficas que integram a área de estudo por prioridade de intervenção. Ou seja, indicar a necessidade ou a preferência relativa de cada bacia por determinada ação.

## **3. Revisão Bibliográfica**

### **3.1 Considerações Iniciais**

Este capítulo traz informações e reflexões obtidas a partir da revisão de literatura que se procedeu. Inicialmente, no item 3.2, faz-se uma abordagem dos aspectos que repercutem diretamente sobre os recursos naturais, particularmente os de natureza hídrica. Tais aspectos referem-se ao crescimento populacional e à urbanização, responsáveis pelas diversas formas e intensidades de uso e ocupação do meio físico e, conseqüentemente, pela degradação ambiental.

Em seu item 3.3, o capítulo traz uma abordagem ao desenvolvimento sustentável, apresentando de maneira sucinta, mecanismos voltados à preservação, proteção e recuperação dos recursos hídricos. Os mecanismos aqui apresentados têm como base os princípios e recomendações propostas pela Agenda 21. Referem-se à ações e instrumentos técnicos, legais e institucionais direcionados para o uso racional desses recursos.

No item 3.4, apresenta-se aspectos políticos e legais da gestão dos recursos hídricos no Brasil. Faz-se, assim, uma breve caracterização da evolução da política de recursos hídricos, com destaque para a Lei Estadual 7.633/91 e para a Lei Federal 9.433/97. Cabe ressaltar que as referidas leis deram novos rumos à gestão de recursos hídricos no Estado de São Paulo e no Brasil, respectivamente.

O item 3.5 apresenta algumas experiências participativas e descentralizadas do setor de recursos hídricos que, segundo a literatura, não obtiveram êxito. Mesmo assim, cabe ressaltá-las, pois se tratam de experiências que revelaram a percepção e a adoção de uma nova estrutura de gestão da água. São abordados, também, mecanismos institucionais que foram consagrados, com os avanços no arcabouço político e legal do setor. O destaque é para os

comitês de bacias, cuja criação foi um passo decisivo para a organização institucional regional, necessária para a execução da nova política de recursos hídricos.

Nos itens 3.6 e 3.7, estão apresentados aspectos relacionados com o planejamento e o gerenciamento de recursos hídricos, particularmente os que dizem respeito ao seu uso, como a qualidade e a disponibilidade hídrica. Finalmente, no item 3.8, buscou-se o entendimento dos principais métodos e ferramentas de auxílio à tomada de decisão. O enfoque é para os métodos e ferramentas de auxílio a decisão baseados na análise multicritério.

### **3.2 Crescimento Populacional e Urbanização e suas Implicações sobre o Meio Ambiente**

A população mundial cresceu muito rapidamente nas últimas décadas, tendo ocorrido uma grande concentração populacional na área urbana. No Brasil, esse fenômeno tornou-se mais acentuado a partir da década de 60. Entretanto, a implantação e o desenvolvimento de infraestrutura urbana não acompanhou o crescimento populacional e a expansão das cidades, de modo a proporcionar condições de vida satisfatórias a toda população.

As conseqüências desse processo inadequado de crescimento foram alterações nas características do meio natural, pois a ocupação do ambiente natural ocorre, geralmente, com a remoção da cobertura vegetal. O desmatamento, quando feito de forma inadequada resulta em vários impactos ambientais, tais como modificações climáticas, danos à flora e fauna, descobrimento do solo e remoção da camada fértil, assoreamento dos recursos hídricos, aumento do escoamento superficial da água, redução das infiltrações e erosão [MOTA, 1999].

A intensificação das atividades humanas e o adensamento populacional são responsáveis, também, pela poluição. Assim, o disciplinamento do uso e ocupação da terra deve ser feito visando a conservação do meio ambiente e, portanto, como uma medida preventiva contra a poluição.

No que diz respeito a poluição das águas, merecem destaque as fontes localizadas de poluição, dentre elas os lançamentos de esgotos domésticos e industriais. O primeiro caracteriza-se pela

grande quantidade de matéria orgânica, causando redução do oxigênio dissolvido na água. O segundo tem uma composição bastante variada, dependendo do tipo de indústria.

Segundo autor citado, o planejamento do uso da terra contribui para atenuar o problema, disciplinando os locais de lançamento de efluentes. Assim, a seleção de locais de lançamento de esgotos tratados deve levar em conta os seguintes fatores:

1. Situação atual e desejada para os recursos hídricos da bacia hidrográfica;
2. Classificação dos recursos hídricos, definindo usos preponderantes para a água;
3. Conhecimento dos parâmetros que influem na autodepuração dos rios: volume do corpo receptor, condições de escoamento, oxigênio dissolvido e poluentes existentes;
4. Localização em relação à área urbanizada e aos locais de captação de água;
5. Volume e características dos despejos (estimativa da carga poluidora).

Assim, num planejamento regional devem ser analisados os efeitos do lançamento de esgotos de uma cidade sobre a qualidade da água, a ser utilizada por cidades situadas à jusante. Para isso, deve-se considerar a bacia hidrográfica como um todo, classificando-se os recursos hídricos constituintes em função dos usos preponderantes. A partir daí, pode-se aplicar os instrumentos de gestão dos recursos, como a outorga e a cobrança pelo uso da água. Pode-se, ainda, definir a localização das estações de tratamento e dos pontos de lançamentos, assim como de áreas industriais.

### **3.3 Desenvolvimento Sustentável e Recursos Hídricos**

Os acontecimentos vividos pela humanidade no final dos anos sessenta e limiar dos anos setenta levaram a sociedade a uma maior conscientização sobre as questões ambientais. Nessa época, o mundo assistiu a repressão à Primavera de Praga, enquanto, no Brasil, o Congresso Nacional estava fechado pelo Ato Institucional no 5 e, no Japão, na Baía de Minamata, mais de 300 pessoas morriam ao ingerir peixes contaminados por mercúrio.

Esses fatos emblemáticos conjugados com a crescente degradação ambiental construíram um cenário que levou a sociedade a um processo de mudanças de comportamento frente aos resultados do crescimento econômico e populacional desenfreados e da industrialização predatória [CNUAD, 1992].

A degradação ambiental resultante da exaustão e da exploração irracional dos recursos terrestres levou a Organização das Nações Unidas (ONU), em 1972, a realização de uma conferência internacional sobre os problemas do meio ambiente humano; a Conferência de Estocolmo. Essa conferência foi o ponto de partida para que a temática ambiental se disseminasse sob a ótica internacional através da idéia de ecodesenvolvimento, posteriormente renomeado desenvolvimento sustentável. Esta idéia propunha novos conceitos e instrumentos metodológicos para os campos de ação e investigação que discutissem a relação ser humano-meio ambiente ou homem-natureza [SATO & SANTOS, 1999].

No entanto, somente vinte anos após a Conferência de Estocolmo é que se concretizou uma política global para a preservação e o desenvolvimento sustentável, representada pelo documento denominado Agenda 21 . Estabeleceu-se, assim, um programa de ação em forma de recomendações para as autoridades, associações civis e empresas, orientadas para melhorar a qualidade de vida da população do planeta.

O conceito de desenvolvimento sustentável vem sendo continuamente aprimorado, permitindo uma maior compreensão das complexas relações entre a humanidade e a biosfera [SACHS, 1993]. Segundo o autor, desenvolvimento e meio ambiente estão indissolúvelmente vinculados, sendo que o desenvolvimento de uma nação só poderá ser sustentável se atender, simultaneamente, três critérios: eficiência econômica, prudência ecológica e equidade social. O último critério ressaltado pelo autor merece destaque nesse contexto, uma vez que possui distintas interpretações. Assim como na definição de desenvolvimento sustentável, falta rigor na definição de equidade social, o que se deve ao fato das condições que garantam estas propriedades não serem caracterizadas de forma objetiva [LANNA, 2002].

Segundo o referido autor, uma interpretação para equidade social é o “tratamento igual para iguais”, sendo que a complexidade da questão constitui-se em identificar “qual é a igualdade a

ser buscada”. Em certos casos, é possível atestar que uma sociedade é mais equânime que outra quando ocorrem diferenças acentuadas, particularmente nos indicadores sociais. Também é possível afirmar quando uma decisão contribui para o estabelecimento de uma situação mais equânime. Entretanto, não é fácil identificar uma situação ideal de equidade. Por exemplo, um projeto que gere empregos para mão de obra desempregada em uma região contribui para uma maior equidade. Já a distribuição de renda considerada ideal a uma sociedade é uma questão complexa para ser identificada.

Fundamentando-se nas estratégias do desenvolvimento sustentável, a Agenda 21 propõe um programa de atividades, recomendado a todos os países que, conforme seu potencial e disponibilidade de recursos, podem implementá-lo quando apropriado. A implementação do programa deve contar com a cooperação das organizações pertinentes.

Na área de recursos hídricos, o documento apresenta em seu capítulo 18, algumas áreas de programas para o setor de água doce. Entre elas, a gestão integrada dos usos de recursos hídricos, que se principia na *“percepção da água como parte integrante do ecossistema e como um bem público de valor econômico, cuja utilização deve ser cobrada, observados os aspectos de quantidade e qualidade e as peculiaridades da bacia hidrográfica”*.

Com essa finalidade, os recursos hídricos devem ser protegidos para satisfazer e conciliar as necessidades de água nas atividades humanas e preservar os ecossistemas. A gestão integrada de recursos hídricos deve ser feita no âmbito da bacia ou sub-bacia hidrográfica, visando as seguintes metas:

1. Elaborar planos de proteção, conservação e uso racional dos recursos hídricos, com base nas necessidades e prioridades da comunidade.
2. Implementar projetos ou programas adequados e eficientes, tanto socialmente quanto economicamente. Os mesmos devem contemplar a participação do público e das comunidades locais, no estabelecimento de políticas e tomadas de decisão;

3. Fortalecer ou implementar, particularmente nos países em desenvolvimento, mecanismos institucionais, legais e financeiros. Assegurando-se, assim, que a política hídrica e sua implementação seja um propulsor para o bem-estar social e o desenvolvimento econômico sustentável;
4. Fortalecer as instituições locais na implementação e manutenção de programas de saneamento e abastecimento de água.

Em seu capítulo 18, a Agenda 21 defende que *“a escassez generalizada, a destruição gradual e o agravamento da poluição dos recursos hídricos em muitas regiões do mundo, ao lado da implantação progressiva de atividades incompatíveis, exigem o planejamento e gestão integrada desses recursos”*. Nesse contexto, o documento propõe o seguinte programa de atividades orientadas para a gestão dos usos de recursos hídricos:

1. Integrar medidas de proteção e conservação de fontes potenciais de abastecimento de água com o planejamento do uso da terra, a utilização de recursos florestais e a proteção das encostas e margens dos rios;
2. Desenvolver bancos de dados, modelos de análise e previsão de demandas, incluindo métodos de avaliação do impacto ambiental;
3. Otimizar a alocação de recursos hídricos sob limitações físicas e sócio- econômicas;
4. Implementar as decisões de alocação por meio da gestão da demanda, mecanismos de preços e medidas de regulamentação;
5. Promover planos de uso racional da água através da conscientização pública, programas educacionais e a cobrança pelo uso da água;
6. Desenvolver fontes alternativas de abastecimento de água, tais como o aproveitamento de águas residuais e reuso da água;

7. Integrar a gestão da quantidade e qualidade da água;
8. Promover a conservação da água através de planos eficientes de aproveitamento e de combate aos desperdícios;
9. Apoiar os usuários dos diferentes setores para o uso racional dos recursos hídricos;
10. Desenvolver técnicas de participação do público e implementá-las na tomada de decisão;
11. Desenvolver e intensificar a cooperação em todos os níveis pertinentes:
  - No plano nacional - enquadrar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos no processo de planejamento nacional, regulamentação e monitoramento da água baseados na legislação nacional;
  - No plano regional - considerar a possibilidade de harmonizar as estratégias e programas de ação nacionais;
  - No plano local - descentralizar os serviços públicos e delegando a gestão dos recursos hídricos, de acordo com a legislação nacional, às autoridades locais, empresas privadas e comunidades.

O documento também propugna que *“os problemas mais graves que afetam a qualidade dos corpos d’água decorrem, em variados graus de importância, segundo as diferentes situações de tratamento inadequado de esgotos domésticos, controle inadequado de efluentes industriais, perdas e destruição das bacias de captação, localização errônea de indústrias, desmatamento e práticas agrícolas deficientes”*. Com base nesse quadro, a Agenda 21 recomenda um programa de ações para as seguintes atividades:

1. Conservação e recuperação dos mananciais:
  - Reabilitação de zonas de captação importantes;
  - Elaboração de planos nacionais de proteção dos recursos hídricos;

- Reforço de medidas administrativas e legislativas para evitar a ocupação de áreas de captação existentes e potencialmente utilizáveis.
2. Prevenção e controle de poluição:
- Estabelecimento de padrões para o despejo de efluentes e para as águas receptoras;
  - Aplicação, quando apropriado, do princípio “ poluidor - pagador” a todos os tipos de fonte;
  - Avaliação obrigatória do impacto ambiental de grandes projetos que possam prejudicar a qualidade da água e dos ecossistemas;
  - Tratamento de esgotos urbanos para utilização segura na agricultura, aquicultura e outros.
  - Estimular melhores práticas de gestão para o uso de produtos agroquímicos, prevenindo os efeitos adversos das atividades agrícolas sobre a qualidade de água para outras atividades sociais e econômicas.
3. Monitoramento e controle da poluição dos recursos hídricos:
- Estabelecimento de redes para o monitoramento contínuo de águas receptoras de resíduos e de fonte de poluição definidas e difusas;
  - Intensificação do uso de sistemas de informações geográficas e da avaliação de impacto ambiental.

### **3.4 Aspectos Políticos e Legais da Gestão de Recursos Hídricos no Brasil**

A gestão de águas no Brasil se consolida como política a partir de 1934, com o Código das Águas. Desde então, o desenvolvimento do potencial hidrelétrico domina a política de águas no país, com predominância federal do monopólio estatal do setor e com prevalência do Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE), do Ministério de Minas e Energia [MOTTA, 2002].

Conforme o autor citado, com a centralização da política de gestão de recursos hídricos, a questão ambiental era discutida apenas no âmbito do setor elétrico. Da mesma forma, os programas contra a seca e, posteriormente, de irrigação dominam o cenário nordestino de

recursos hídricos, com controle federal. Somente a partir de 1995, com a criação da Secretaria de Recursos Hídricos, é que se estabelece uma política ambiental para os recursos hídricos, válida para todo contexto nacional.

Na década de 70, com a estadualização dos serviços de abastecimento de água e esgoto, os municípios, usuários mais diretos das bacias, dependiam das iniciativas estaduais e federais. Tal dependência somada a uma limitada capacidade administrativa e fiscal, eram incentivos à maximização do uso da água, sem considerar suas externalidades. Tais externalidades são causadas pelo intenso processo de industrialização, urbanização e modernização agrícola. As associações municipais ou de bacias eram de natureza jurídica duvidosa e frágeis, diante da dominância federal e estadual [MOTTA, 2002].

Tal estrutura de gestão de recursos hídricos, com tendência centralizadora, setorial e dependente de recursos orçamentários, foi abalada pela crise econômica, da década de 80. A crise ao fragilizar os gastos públicos afetou outros setores da economia e, ainda mais, a capacidade de manutenção dessa estrutura de gestão. Ao mesmo tempo, as externalidades do uso da água, começam a apresentar seus custos de forma direta, principalmente nas administrações municipais. Estas, no entanto, continuavam sem deter instrumentos de ação.

Em contrapartida, iniciativas federais de planejamento cooperativo foram tomadas, visando reduzir as fontes de externalidades. Surgiram, então, as primeiras experiências de gestão com comitês de bacias, visando harmonizar interesses e identificar ações de planejamento. No entanto, não conseguiram avançar devido à ausência de incentivos à cooperação. Nada acrescentavam de instrumentos de gestão e continuavam a depender dos interesses setoriais e orçamentários que, mesmo fragilizados, ainda exerciam o monopólio político da gestão.

Também, algumas iniciativas no âmbito local e estadual surgiram. Os consórcios de municípios e algumas associações estaduais de usuários continuavam sem caráter jurídico e capacidade fiscal e orçamentária. Por outro lado, inicia-se novamente a municipalização dos serviços de abastecimento de água e esgoto. Os municípios ganham, assim, um papel econômico na gestão de recursos hídricos.

Mesmo não obtendo significativos sucessos, essas experiências participativas e descentralizadas, deram novos rumos à gestão de recursos hídricos no País. Percepção esta que possibilitou a inserção na constituição federal e nas constituições estaduais de capítulos sobre uma nova política de recursos hídricos. Com isso, abriram-se caminhos para a elaboração das novas legislações sobre recursos hídricos. Também, a nova ordem constitucional ampliou a participação dos municípios na distribuição das receitas fiscais, fortalecendo sua participação na federação.

A partir daí, diversos estados elaboraram suas legislações sobre recursos hídricos. Todas essas legislações consagram a bacia como unidade de gestão, os planos estaduais, a unicidade de outorga e o instrumento de cobrança.

### **3.4.1 A Lei Federal 9.433/97**

Depois de muitos anos de negociação legislativa e intensos debates sobre as questões ambientais, em particular as de natureza hídrica, em 8 janeiro de 1997, promulgou-se a Lei Federal no 9.433. A Lei instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, que traça diretrizes para o gerenciamento desses dos recursos hídricos, adotando estratégias fundamentadas nos princípios de desenvolvimento sustentável.

A Lei cria também o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos que visa, entre outras coisas, coordenar a gestão integrada dos recursos hídricos, arbitrar administrativamente os conflitos entre usos desses recursos, planejar e controlar o uso e implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos.

O novo sistema transcende, mas não se opõe, a estrutura administrativa existente, que tem base municipal, estadual ou federal. Desse modo, ele cria apenas organismos necessários à execução das novas atividades, que por terem área de abrangência além da esfera político-administrativa, não poderiam ser executadas pelos organismos existentes. Entre esses organismos, destacam-se os comitês e as agências de bacias, com área de atuação na bacia hidrográfica.

Dessa forma, o sistema busca descentralização da gestão, passando da sede do poder público para a esfera da bacia hidrográfica. Efetiva-se, assim, uma parceria entre o poder público e a sociedade organizada. O poder decisório passa a ser compartilhado nos comitês de bacias hidrográficas, que segundo KETTELHULT et al. (1999), exercem as seguintes funções:

1. Promover o debate das questões relacionadas aos recursos hídricos da bacia e articular a atuação das entidades intervenientes;
2. Arbitrar, em primeira instância, os conflitos relacionados a recursos hídricos;
3. Aprovar e acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia;
4. Estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados;
5. Estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

Apesar de sua existência recente, a referida lei representa um avanço em direção à gestão integrada e participativa dos recursos hídricos, premissa para se alcançar uma condição de sustentabilidade do desenvolvimento. Entretanto, sua regulamentação depara-se com os seguintes obstáculos: o caráter tradicionalmente setorizado do sistema institucional brasileiro, a sobreposição de competência entre as agências envolvidas na gestão dos recursos hídricos, os conflitos entre valores e interesses dos usuários e da sociedade em geral.

A Lei tem como alicerce os princípios básicos praticados, atualmente, nos países que avançaram na gestão de seus recursos hídricos. Esses princípios são o reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável, dotado de valor econômico, os usos múltiplos da água, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e a gestão descentralizada e participativa.

Esse conjunto de princípios é o ponto de partida para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, que tem por finalidade assegurar, às gerações atuais e futuras, a disponibilidade de água necessária e em padrões de qualidade adequados às diversas atividades sócio-econômicas. Outra finalidade dessa política é promover a utilização racional e integrada desse recurso [KETTELHUT et al.,1999].

Segundo os autores citados, para se alcançar esse conjunto de objetivos, algumas diretrizes gerais de ação são estabelecidas por essa política. Dessas diretrizes, destaque-se a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas e sócio-econômicas e culturais regionais, a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso da terra.

#### **3.4.2 A Lei 7.663/91 - do Estado de São Paulo**

No Estado de São Paulo, o gerenciamento dos recursos hídricos teve grande impulso a partir de 1983, com a realização do I Encontro Nacional de Órgãos Gestores e a descentralização do DAEE, mediante a criação de diretorias de Bacias Hidrográficas. Outro fato decisivo foi a instituição do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CRH, em 1987, sendo constituído por titulares de secretarias de estado. Esse Conselho foi encarregado de propor a estruturação de um Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos -SIGRH e a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH. Posteriormente, sua constituição foi modificada e adaptada às disposições da Lei 7663/91, incluindo a participação de prefeitos municipais e representantes da sociedade civil [DAEE, 2001].

No estado de São Paulo, um passo decisivo para a implementação de instrumentos de gestão de recursos hídricos foi dado com a instituição da Lei no 7.663, de 30 de dezembro de 1991. A Lei estabeleceu os objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos, que fundamentou o gerenciamento descentralizado, integrado e participativo, adotando a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento e reconheceu a água como um bem público de valor econômico, defendendo o princípio “usuário-pagador” [CBH-PCJ, 1996].

É importante mencionar que esses princípios foram consagrados por várias legislações, sendo adaptados para todo o território nacional pela Lei Federal 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Ressalte-se, com isso, que as experiências em gestão dos recursos hídricos no Estado, alicerçadas nesses princípios, serviram de molde para uma gestão mais abrangente, isto é, envolvendo o território nacional.

### **3.5 Experiências Brasileiras em Gestão de Bacias Hidrográficas**

No Brasil, o gerenciamento de recursos hídricos tem passado por um processo lento de regulamentação. Mesmo assim, várias iniciativas de gestão integrada de bacias hidrográficas já foram iniciadas, contribuindo para um processo de gestão mais estruturado e formalizado. Destacam-se, na seqüência, algumas dessas experiências em curso.

No âmbito de um acordo de cooperação técnica entre o Brasil e a França, estabeleceram-se dois projetos para o gerenciamento integrado de bacia hidrográfica. Estes vêm sendo desenvolvidos nas bacias do rio Paraíba do Sul e do rio Doce. O Projeto Rio Doce, iniciado em maio de 1989, teve sua primeira etapa concluída em maio de 1992. Foi a primeira simulação de um sistema baseado na gestão integrada por bacia. A partir do diagnóstico da bacia, foi elaborado um primeiro plano de ação e simulado um sistema de cobrança pelos usos da água (quantidade, qualidade), usos dos solos e financiamento obras por um sistema de Agência e Comitê de Bacia [MMA, 2002].

No caso do Projeto Paraíba do Sul, foi definido como objetivo principal, adquirir experiência sobre o sistema de Gestão Integrada de Bacia Hidrográfica, baseado nos princípios “usuário-pagador” e “poluidor-pagador”. Desde 1992, o Projeto Paraíba do Sul vem reunindo um importante acervo de estudos sobre a bacia, operando redes permanentes de medição de campo. A primeira meta técnica do projeto foi atingida, em novembro de 1993, com a implantação, no Rio de Janeiro, de um Centro de Gestão Integrada da Bacia.

Ressalte-se, ainda, que, em 1996, após intensas discussões entre estados que integram a Bacia e os ministérios envolvidos na Bacia, chegou-se a um consenso sobre a reformulação do

Comitê de Bacia. Por decreto presidencial foi criado o atual Comitê para Integração da Bacia do Rio Paraíba do Sul - CEIVAP que substitui o antigo CEEIVAP (Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia do Rio Paraíba do Sul).

No que se refere ao Rio São Francisco, foi criado no final da década de 70, o Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia do Rio São Francisco (CEEIVASF), composto por órgãos federais e estaduais envolvidos com a bacia. Na década de 80, esse Comitê promoveu diversos estudos como o Projeto Gerencial do São Francisco, em que foi proposto o enquadramento dos rios federais da referida bacia hidrográfica. Essa proposta foi feita com base na Resolução do CONAMA. Em 1997, o Comitê ampliou a participação à associação de irrigantes e a organizações não-governamentais [MMA, 2002].

Segundo o referido autor, a criação dos Comitês dos rios Gravataí e dos Sinos, no Rio Grande do Sul, constitui um exemplo de experiência de um sistema estadual de gestão. Ambos os comitês surgiram em meados da década de 80, a partir da confluência dos esforços de técnicos de órgãos públicos com movimentos sociais locais. As bacias dos rios Gravataí e dos Sinos abrangem áreas de grande população e desenvolvimento industrial. Os dois rios, altamente poluídos em seus trechos inferiores, são importantes para vários usos, a começar pelo abastecimento das populações

Paralelamente à criação dos Comitês, o Governo Federal tem incentivado iniciativas locais, tais como a formação de Consórcios Intermunicipais de Bacias Hidrográficas. Estas são iniciativas onde os governos locais e os usuários estabelecem prioridades para o desenvolvimento da bacia, com base nos princípios do desenvolvimento sustentável. Como exemplo de experiência de gestão intermunicipal de recursos hídricos, é importante mencionar a criação do Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, no Estado de São Paulo. Em 1989, 12 prefeitos reuniram-se e criaram o referido Consórcio Intermunicipal, com objetivo de promover a recuperação e proteção dos mananciais. Essa organização reúne atualmente, 38 municípios e 20 empresas privadas, sendo considerada a associação de usuários de recursos hídricos mais bem estruturada do País.

Com relação à bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, cabe ressaltar a criação do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí - CBH-PCJ. O referido comitê foi criado pela Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. É um órgão colegiado, consultivo e deliberativo, de nível regional e estratégico do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SIGRH, com atuação nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. As respectivas bacias formam a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 5 – UGRHI 5, criada pela Lei Estadual nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994.

O CHBH-PCJ foi o primeiro comitê de bacia do Estado de São Paulo. Sua criação constitui, assim, marco histórico de novos rumos à gestão descentralizada e participativa de recursos hídricos, do Estado de São Paulo. Dada sua importância como o ator da política de recursos hídricos na bacia em estudo, apresenta-se uma abordagem mais detalhada de seu papel na execução dessa Política e na implementação de seus instrumentos.

### **3.6 Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos**

Segundo BARTH (1987), a condição fundamental para que a gestão de recursos hídricos seja efetivamente implantada é a motivação política, que faz prevalecer os interesses públicos sobre os interesses particulares e corporativistas. Havendo decisão política, motivada pela escassez relativa de tais recursos, é possível planejar o seu aproveitamento e controle mediante a implantação de obras e medidas recomendadas.

A implantação dessas medidas e obras previstas no planejamento é objetivo da administração dos recursos hídricos, sendo que a outorga do uso, controle e fiscalização constituem seus principais instrumentos. Desse modo, a gestão dos recursos hídricos é efetivada por meio do planejamento integrado de recursos.

Além do sistema político, que toma as decisões, o planejamento de recursos hídricos precisa ser compatível, também, com o próprio sistema hídrico e com o sistema econômico, que gera as demandas de água. Esses três sistemas são bastante complexos, sendo que o sistema físico é

caracterizado pelas complexidades hidrológicas, biológicas e químicas, ao passo que, nos sistemas político e econômico, tais complexidades aparecem quando pessoas e interesses estão envolvidos. Tais aspectos tendem a dificultar a análise e a ponderação dos diversos fatores inerentes. Em geral, os problemas de recursos hídricos são de dois tipos: um está relacionado principalmente com a quantidade e o outro refere-se à qualidade da água [COHON, 1978].

Normalmente, os recursos hídricos proporcionam inúmeros benefícios para a população. Dentre os quais, o abastecimento de água para a irrigação, uso doméstico e industrial, recreação, geração de eletricidade, melhoria da qualidade da água, controle de cheias, manutenção dos ecossistemas e navegação. Esses propósitos geralmente são tratados como objetivos e pelo menos alguns devem ser incorporados nas fases de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos [YEG & BECKER, 1982].

### **3.7 Planejamento e Gestão da Disponibilidade e da Qualidade Hídrica**

Em relação ao aproveitamento hídrico, um aspecto importante a ser abordado é a questão do descompasso entre as demandas requeridas e a quantidade de água disponível. No caso de um reservatório com múltiplos propósitos, a maioria desses usos são conflitantes. Por exemplo, o controle de cheias e abastecimento urbano, citado em COHON (1978).

Conforme o referido autor, trata-se de um caso extremo de competitividade entre usos da água, porém, freqüentemente encontrado. Neste caso, os dois usos impõem políticas contrárias de operação, isto é, para o controle de cheias o reservatório deveria ser mantido o mais vazio possível. Contudo, para aumentar o abastecimento de água quando os fluxos naturais são baixos, o reservatório deveria ser mantido o mais cheio possível. Assim, a complexidade do problema se deve à incerteza do fluxo, ou seja, é impossível saber como será o fluxo natural.

O uso da água de um rio tem efeitos que transcendem os impactos locais, ou seja, o uso de água a montante pode alterar, reduzir ou impedir usos a jusante. A natureza multiobjetivo de uma bacia hidrográfica é caracterizada como o maior complicador na análise econômica e tomada de decisão política. Neste contexto, o planejamento e a gestão de recursos hídricos

objetivam a avaliação prospectiva das demandas e das disponibilidades desses recursos e sua alocação entre os múltiplos usos, para se obter os máximos benefícios econômicos e sociais.

Por outro lado, o gerenciamento da qualidade hídrica se concentra num único uso, que se refere à capacidade da água assimilar os despejos municipais, industriais e efluentes agrícolas. Outros usos fazem parte do problema, pois a qualidade pobre da água poderá impedir alguns usos ou torná-los mais caros. Sendo assim, o abastecimento de água urbano e industrial, por exemplo, pode impedir algumas atividades, tais como, pesca e recreação.

Nesse caso, COHON (1978) propõe o uso de alternativas estruturais e implementação de alternativas não-estruturais para combater a poluição da água. Em geral, existe um conjunto de processos de tratamento para poluentes específicos, sendo que os mais importantes são os processos físicos, químicos e biológicos para remoção da carga orgânica. As alternativas não-estruturais referem-se aos procedimentos gerenciais e à regulamentação, por exemplo, descarga permissível de efluentes e nível de tratamento (padrões de lançamento).

### **3.8 Métodos e Ferramentas de Suporte à Decisão na Área de Recursos Hídricos**

A gestão de recursos hídricos tem passado por um período de reformulação de seus procedimentos de avaliação e de desenvolvimento de técnicas matemáticas de suporte à decisão. Esta nova ótica de gestão de recursos hídricos parte da abordagem tradicional de seleção de alternativas, baseada na análise custo-benefício, para uma análise mais abrangente, que considera múltiplos objetivos. Trata-se da análise multiobjetivo, cujas técnicas têm-se revelado de grande apoio à decisão, particularmente em problemas de interesse público. Esse tipo de análise consiste na otimização de vários aspectos e interesses de diferentes grupos, cada um com objetivos e valores próprios, freqüentemente conflitantes [BARBOSA, 1997].

Quando há vários atributos de comparação entre alternativas, os quais devem ser avaliados e medidos em diferentes escalas, a análise assume o caráter multicriterial. Ao contrário da abordagem tradicional, em que se consideram apenas critérios puramente econômicos e

financeiros, na análise multicritério são considerados, também, aspectos sócio-econômicos e ambientais.

São tantos os métodos multicritério e de características tão variadas que se torna difícil a elaboração de uma classificação de aceitação geral [HARADA, 1999]. Assim, adotou-se a classificação proposta por PARDALOS et al. (1992) e utilizada por ZUFFO (1998) no levantamento e seleção dos métodos mais adequados aos estudos de planejamento ambiental. Os autores dividiram os métodos existentes em quatro grandes famílias, assim estruturadas:

1. Programação Matemática Multiobjetivo,
2. Teoria de Utilidade-Multiatributo,
3. Desagregação das Relações de Preferência e;
4. Relações das aproximações hierárquicas

Apresenta-se, assim, uma caracterização sucinta dessa estrutura de classificação, além das vantagens e restrições da utilização de cada família em relação às demais. Caracteriza-se, também, dentro de cada família alguns dos métodos mais utilizados em planejamento e gestão de recursos hídricos.

### **3.8.1 Métodos baseados na “Programação Matemática Multiobjetivo”**

Nessa tipologia, estão incluídos alguns métodos interativos, pois, a partir da década de 70, muitos procedimentos matemáticos foram desenvolvidos para superar a dificuldade criada pelo tamanho do conjunto “não-dominado”, o que prejudicava a escolha da solução final. Nesta família de métodos, estão aqueles baseados na busca de soluções não-dominadas ou não-inferiores. Outro grupo de métodos que podem ser enquadrados nessa família é aquele baseado na distância, ou ainda, na noção geométrica do melhor. Isto é, são aqueles que na impossibilidade de se atingir a solução ótima, convergem para a solução mais próxima da solução ideal [ZUFFO,1998].

Dentre os métodos pertencentes a essa família, destaca-se o *Compromise Programming* (Programação de Compromisso), que identifica as soluções que estão mais próximas a uma solução ideal, por meio de um procedimento de medida de distância [GOECOECHEA et al.,1982]. A solução ideal é definida pela função objetivo  $f_i^* = \text{Max } f_i(x)$ . O vetor  $f^*$ , cujos elementos são todos máximos, é denominado vetor ideal:  $f^* = (f_1^*, f_2^*, f_3^*, \dots, f_n^*)$ .

A obtenção da solução ideal não é possível, pois dificilmente existe um vetor de decisões  $x^*$  que seja solução comum a todos os  $n$  problemas. No entanto, ela pode ser utilizada na avaliação das soluções alcançáveis.

Uma das maneiras de se determinar a distância da alternativa ideal é sugerida por ZUFFO (1998) pela seguinte expressão:

$$I_s = \left( \sum_{i=1}^n \alpha_i^s \cdot \left( \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right)^s \right)^{1/s},$$

onde,

$\alpha_i$  são os pesos atribuídos subjetivamente aos critérios  $i$  pelo decisor ou derivados de alguma estrutura de preferência;

$f_{w,i}$  é o pior valor obtido para o critério  $i$ ;

$f_i(x)$  é o resultado da implementação da decisão  $x$  com relação ao  $i$ ésimo critério;

$s$  reflete a importância que o decisor atribui aos desvios máximos, podendo variar no seguinte intervalo:  $1 \leq s \leq \infty$

Assim, para  $s = 1$  todos os desvios de  $f_i^*$  são levados em consideração proporcionalmente às suas magnitudes. Para  $2 \leq s \leq \infty$ , o maior desvio tem a maior influência e para  $s = \infty$ , o maior desvio é o único considerado. O problema é resolvido para um conjunto de pesos atribuídos  $\{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n\}$  e para  $s = 1, 2$  e  $\infty$ , onde os parâmetros (pesos) " $\alpha_i$ " refletem a importância

que o decisor atribui ao critério  $i$  e o parâmetro “ $s$ ” reflete a importância que os desvios máximos possuem para o decisor [GERSON & DUCKSTEIN, 1983 apud ZUFFO, 1998].

O método pode ser aplicado quando as alternativas de solução estão discretizadas e cada um dos critérios representados na matriz de avaliação *Pay-off*, sendo que os melhores valores alcançados por cada critério é definido por  $f^*_i$  e os piores como  $f_{w,i}$ . Com esses valores, com os parâmetros “ $\alpha_i$ ” (pesos) e “ $s$ ” dados, calcula-se a distância de cada alternativa à solução ideal. Em seguida, seleciona-se a alternativa de menor distância como a de melhor compromisso.

Desse modo, o *Compromise Programming* adquire alguns aspectos interativos, uma vez que os pesos dos parâmetros “ $\alpha_i$ ” e “ $s$ ” e das soluções ideais podem ser variados, de acordo com o envolvimento obtido com a solução apontada. Dentre as vantagens de sua utilização, destaca-se sua grande difusão e simplicidade de aplicação e entendimento, que o torna uma alternativa na avaliação da problemática a ser estudada.

A maioria dos métodos pertencentes a essa família apresenta algumas restrições quanto à aplicabilidade, sendo que os mesmos aplicam-se, razoavelmente bem, apenas em problemas com até cinco funções objetivos. Isso se deve ao fato de que a busca da “região das soluções viáveis” passa a ser dificultada com o aumento do espaço dimensional do problema. Outra restrição é que muitos métodos não distinguem claramente os objetivos e os critérios, pois algumas vezes uma função objetivo pode ser representada por um conjunto de critérios e em outras por um único critério [ZUFFO, 1998].

### **3.8.2 Métodos baseados na “Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT)”**

Esses métodos de auxílio a tomada de decisão consistem em modelar as preferências de um decisor por meio de uma função de valor (decisão sob certezas) ou de uma função de utilidade (decisão sob incertezas), que é, predominantemente, aditiva [PARDALOS et al., 1995].

Na gestão de recursos hídricos, a tomada de decisões no contexto dos comitês de bacias hidrográficas não envolve um único decisor, mas um grupo de decisores. Nesse caso, as funções de valor ou de utilidade devem representar as preferências do grupo, o que dificulta ainda mais a identificação dessas funções, gerando conflitos de interesses. Isso não significa que os métodos multicriteriais baseados na “teoria da utilidade multiatributo” não possam ser utilizados em problemas de interesse público. Muito pelo contrário, a existência de situações de conflitos entre os decisores requer um maior número possível de ferramentas de auxílio à tomada de decisão.

Nesse contexto, os métodos baseados na “teoria da utilidade multiatributo” têm ocupado posição de destaque, uma vez que incorporam as preferências do tomador de decisão. Conforme citado em HARADA (1999), sua teoria baseia-se no seguinte axioma fundamental: todo tomador de decisão tenta implicitamente maximizar uma função de utilidade ou minimizar uma função custo. Na função ser otimizada, estão agregados diferentes atributos em um único valor, sendo uma representação matemática da estrutura de preferência do decisor. Esse procedimento de agregação multiatributo é realizado utilizando-se os métodos dessa família, os quais visam principalmente a obtenção da alternativa que possa otimizar uma função de utilidade.

Em aplicações de múltiplos objetivos, determinam-se as funções de utilidade de cada atributo, combinando-as e agregando-as em seguida, numa única função utilidade-multiatributo. Para determinar sua forma, devem-se examinar os conceitos de independência das utilidades e independência das preferências [GOBETTI & BARROS, 1994 apud HARADA, 1999].

Nessa família, incluem-se o Método de Pesos, Método das Restrições e o Método Multiobjetivo Linear. A vantagem do uso dessa metodologia é que ela permite um ordenamento em ordem de preferência de todas as alternativas. No entanto, essa mesma característica não permite a avaliação de incomparabilidade ou da indiferença entre alternativas. A maior dificuldade na utilização dessa metodologia é a determinação das funções de valor ou de utilidade para cada um dos decisores, que, para o caso dos comitês de bacia, são muito numerosos.

### **3.8.3 Métodos baseados nas “Aproximações de Desagregação de Preferências”**

Essa tipologia de métodos de auxílio à tomada de decisão tem por base a análise da desagregação, sendo utilizados para modelar as preferências do decisor, por meio da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT). Nos métodos pertencentes à essa família os parâmetros são estimados por meio da análise de todas as preferências do tomador de decisão, assinaladas para algumas alternativas de referência.

A análise de preferências é realizada mediante comparações, hierarquizações e aproximações por regressão, por exemplo. Uma vez conhecidas as preferências subjetivas do decisor, o próximo passo é a estimação de uma função utilidade aditiva, para dar consistência às informações levantadas. Difere da família dos métodos MAUT porque seus parâmetros são indiretamente estimados e, também, porque o problema principal passou a ser a estimação de uma função utilidade aditiva [ZUFFO, 1998].

Os métodos baseados na teoria da desagregação visam principalmente a identificação das funções de valor ou de utilidade. Após a identificação dessas funções, a resolução do problema multicritério passa a ser resolvido por um dos métodos MAUT. Como a identificação das funções de valor ou de utilidade não fazem parte do escopo deste trabalho, os métodos dessa família não serão, portanto, adotados no contexto da problemática abordada.

### **3.8.4 Métodos baseados nas “Aproximações Hierárquicas”**

Este conceito de métodos baseados na hierarquização é atribuído a Bernard Roy, que é considerado o fundador desses métodos. Esta categoria de métodos é muito difundida na Europa e procura estabelecer uma comparação entre as alternativas, baseando-se nas preferências do decisor.

Vários são os métodos desse grupo, sendo que os mais conhecidos são os da família denominada ELECTRE (Elimination and (et) Choice Translating Reality), que se baseiam em dois processos : um de “construção” e outro de “exploração”. O primeiro consiste na

comparação de alternativas levando-se em conta todos os critérios. Esse processo conduz a um modelo de preferência constituído de uma ou várias relações de desclassificação. Tais relações são, em geral, construídas a partir do denominado “princípio de concordância e discordância”. O segundo processo, consiste na utilização de relações de desclassificação para derivar uma recomendação. Dependendo do problema, essa recomendação pode ser na forma de um subconjunto de alternativas, classes de alternativas ou escolhas de alternativas dentro de diferentes categorias [BOUYSSOU, 1995].

Como existe um grande número de métodos pertencentes a essa família, estes podem ser classificados de acordo com as seguintes problemáticas decisórias de referência:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . As mesmas são utilizadas para situar o processo de decisão, estando resumidas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Problemáticas decisórias de referência.

Problemática	Objetivo	Resultado	Procedimento
$\alpha$ (alfa)	escolha de um subconjunto contendo as melhores ações ou, na ausência dessa possibilidade, as satisfatórias.	escolha	seleção
$\beta$ (beta)	triagem por alocação de ações em categorias pré-definidas.	triagem	alocação
$\gamma$ (gama)	Definição, por ordenação completa ou parcial, de classes de equivalência, compostas por ações que se comparam entre si.	seqüência	classificação

Fonte: adaptado de MAYSTRE et al. (1994) apud GENERINO (1998).

Entre as problemáticas apresentadas, a alfa ( $\alpha$ ) é a mais clássica, desempenhando a função de “colocar o problema em termos de melhor escolha”. Ou seja, selecionam-se alternativas que sejam preferidas segundo a maioria dos critérios e que não causem um nível de descontentamento inaceitável para os demais critérios [GENERINO, 1998].

Alguns métodos pertencentes à Família Electre estão brevemente caracterizados a seguir. Distingue-se, também, para cada método, a problemática decisória de referência para a qual o método se destina.

### *a) O ELECTRE I*

O método ELECTRE I revela a problemática alfa. Desse modo, o processo de seleção de alternativas consiste em dividir o conjunto de ações potenciais, denominado de conjunto A, em dois subconjuntos complementares  $N$  e  $A \setminus N$ . O subconjunto  $N$  contém as ações incomparáveis entre si. Nesse caso, é realizada uma sub-classificação das ações pertencentes a  $A \setminus N$  em pelo menos uma ação pertencente a  $N$ . Assim, elimina-se o subconjunto  $A \setminus N$ , sendo escolhidas as ações pertencentes ao sub-conjunto  $N$  [MAYSTRE et al., 1994 apud GENERINO, 1999].

Essa metodologia, sugerida por BENAYOUN et al. (1966) e aperfeiçoada por ROY (1971), tem sido aplicada em muitos problemas de recursos hídricos [DAVID & DUCKSTEIN (1976); HARRIS (1992); GERSON et al. (1982); FRICKE et al., (1989); TEIXEIRA, (1994)]. O método consiste em escolher aquelas alternativas que são preferidas pela maioria dos critérios adotados, dentro de níveis de aceitabilidade definidos e, ainda, não causar um nível inaceitável de descontentamento por qualquer um dos critérios [GERSON et al., 1982]. Assim, as alternativas ou programas prioritários são relacionados com critérios que estabeleçam o melhor e o mais racional aproveitamento dos recursos hídricos. Os critérios são ponderados a partir de valores julgados pelos decisores e divididos em classes de pesos que refletem estrutura de preferência. O ELECTRE I permite separar as alternativas não-dominadas (mais preferidas) das dominadas.

Três são os conceitos utilizados pelo método ELECTRE I: índice de concordância, índice de discordância e valores limites [FRICKE, et al., 1989]. O índice de concordância de quaisquer duas ações  $i$  e  $j$  é a ponderação do número de critérios para os quais a ação  $i$  é preferível à ação  $j$  e onde não há preferência entre elas [DUCKSTEIN & BOGARDI, 1988]. Os pesos variam em escala crescente de importância e, conforme já mencionado, são definidos pelo decisor. Em síntese, o índice de concordância pode ser visto como uma medida de satisfação do decisor na escolha da alternativa  $i$  sobre a alternativa  $j$ .

Quanto ao índice discordância, GOICOECHIEA (1982) define um intervalo de escala comum para todos os critérios. Essa escala é definida fixando um certo número de pontos máximos para todos os critérios. Isso conduz a uma série de intervalos cuja escolha é feita de modo que a melhor posição seja assinalada com o mais alto valor da série, cujo valor atribuído é 100 e a pior posição recebe o menor valor da série.

Conforme o autor citado, a escolha do número de pontos atribuídos a cada critério depende da importância que o decisor atribui ao intervalo entre o melhor e o pior critério. Sendo assim, determina-se o intervalo de discordância para cada critério onde a alternativa  $j$  é preferida a alternativa  $i$  e, o comprimento do intervalo de discordância desses critérios é definido como coeficiente de discordância para as alternativas  $i$  e  $j$ . Por sua vez, o índice de discordância complementa o de concordância, ao verificar o nível de desconforto provocado pela escolha da ação  $i$  sobre a  $j$ .

Os valores limites  $p$  e  $q$  variam de 0 a 1, onde  $p$  especifica o grau de concordância que o decisor deseja obter e  $q$  o grau de discordância que o decisor está disposto a tolerar. Nesse caso,  $p=1$  corresponde à “concordância total”, ou seja, a alternativa  $i$  deveria ser preferida sobre a alternativa  $j$  em relação à todos os critérios. Já o valor de  $q=0$  significa “nenhuma discordância” [FRICKE et al.,1989]. Quando os valores de  $p$  e  $q$  resultam em uma escolha impraticável, deve-se atribuir novos valores a  $p$  e/ou  $q$  até se chegar a um nível de aceitação pelo decisor.

As condições de concordância e discordância são usadas para definir a relação de desclassificação, que permite uma ordenação parcial das alternativas preferidas. Essa relação é usada para formar uma composição gráfica e após ser definida, o próximo passo consiste em se determinar o subconjunto das alternativas preferidas. As alternativas não pertencentes ao subconjunto são eliminadas a partir de novas considerações [TEIXEIRA, 1994]. Em síntese, o resultado do ELECTRE I é um gráfico de preferência, apresentando uma ordenação parcial de alternativas [DUCKSTEIN et al. (1982); FRICKE et al.,(1989)].

### ***b) O ELECTRE II***

O método ELECTRE II é uma extensão do método ELECTRE I e foi desenvolvido por Roy & Bertier (1971). Enquanto o ELECTRE I proporciona uma ordem parcial do conjunto de alternativas não dominadas, o ELECTRE II oferece uma hierarquização completa do conjunto de alternativas não dominadas. Para tanto, o referido método constrói relações de ordenação hierarquizada baseadas nas preferências dos tomadores de decisão [GOICOECHEIA, 1982].

Conforme o autor citado, este algoritmo supõe existir múltiplos níveis de concordância e discordância que são especificados e que são usados para construir dois extremos de relações de ordenação hierarquizada, os quais são baseados nas preferências admitidas. Esses extremos são: uma forte relação de hierarquização e uma relação de hierarquização fraca. O gráfico de forte hierarquização é resultado da aplicação de rigorosos limites de preferência, isto é, de um alto nível de concordância e de um baixo nível de discordância selecionados pelos decisores. Ao passo que o gráfico de hierarquização fraca, estes valores limites se invertem.

### ***c) ELECTRE III***

O Electre III acrescenta alguns aperfeiçoamentos em relação às versões anteriores, como uma graduação contínua da concordância entre as preferências forte e fraca. Outro grande diferencial é a utilização de funções  $q$ ,  $p$  e  $v$ , indicando indiferença, preferência e veto entre alternativas, que estão definidas com precisão em ROY (1985). Também são usados os índices de concordância e discordância. A partir da agregação das matrizes de concordância e discordância, constrói-se uma matriz de “credibilidade”, que representa uma medida de quanto cada alternativa desclassifica seu par. Sua lógica de funcionamento é análoga a dos outros métodos da série, onde são estabelecidas ordenações preferenciais das alternativas: uma ascendente, uma descendente e uma ordenação final formada a partir das anteriores [CORDEIRO NETTO & SOUZA, 2000].

Dado o grande número e a diversidade dos métodos multicriteriais existentes, a escolha de um deles dependerá, principalmente, da natureza do problema, da familiaridade do decisor com o

método adotado e da existência dos recursos necessários para a sua execução. Problemas de recursos hídricos, particularmente, envolvem um grande volume de informações e de critérios que, além de numerosos, são de natureza quantitativa e qualitativa, dificultando a escolha do método. Assim, a escolha do método apropriado fica subordinada à natureza dos dados disponíveis, pois a análise do banco de dados proposto permite a eliminação de alguns métodos que, provavelmente, não convergiriam para a solução do problema.

## **4. Metodologia da Pesquisa**

### **4.1 Considerações Iniciais**

Entre os maiores obstáculos ao processo de decisão na implementação de programas de racionalização do uso de recursos hídricos estão os de natureza socioeconômica e político-institucional, notadamente dificuldades na captação de recursos financeiros e formação de recursos humanos.

Dentro dos limites e do escopo deste trabalho, direcionaram-se os esforços às investigações de ferramentas e métodos de auxílio à decisão na execução de ações de intervenção. Procurou-se, assim, desenvolver procedimentos que possibilitassem reunir dados e informações consistentes sobre a área de estudo, realizar diagnósticos, identificar ações de intervenção e indicar o grau de preferência de bacias hidrográficas por determinado tipo de intervenção.

O capítulo traz uma descrição dos principais procedimentos metodológicos e analíticos adotados na elaboração do trabalho. Como indicado na introdução, as principais etapas são as seguintes:

1. Formação do banco de dados e respectivo diagnóstico;
2. Seleção de uma proposta de indicadores de sustentabilidade;
3. Definição de categorias de ações prioritárias;
4. Aplicação do método multicritério.

A seguir, descreve-se cada uma dessas etapas.

## **4.2 Formação do Banco de Dados**

Entre os principais elementos de suporte a um trabalho de planejamento ou gestão está a formação de um banco de dados e informações consistentes sobre o objeto de estudo ou análise. Geralmente, observa-se grandes dificuldades na obtenção de dados e atualizados e confiáveis.

Neste trabalho particularmente, uma das dificuldades foi conciliar os dados existentes com a unidade geográfica de estudo. Geralmente, dados importantes (socioeconômicos, demográficos, etc.) são agregados por unidade político-administrativa. Por outro lado, a gestão de recursos hídricos deve ser feita por bacia ou sub-bacia hidrográfica.

Para se obterem as informações necessárias ao desenvolvimento do trabalho, realizou-se um diagnóstico da área de estudo, incluindo características físicas, demográficas, socioeconômicas, hidrológicas e de uso dos recursos hídricos, gerando as seguintes informações:

### ***a) Área de Drenagem das bacias hidrográficas , áreas cultivadas e irrigadas e áreas com cobertura vegetal natural e reflorestamento***

Áreas de abrangência das sub-bacias que constituem a UGRHI 5, assim como as áreas cultivadas com culturas agrícolas irrigadas, áreas de cobertura vegetal natural e de unidades de reflorestamento. Os dados utilizados para a obtenção dessas informações foram obtidos do *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 5* [CETEC, 2001] e do *Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003* [CBH-PCJ, 2002].

### ***b) Populações total e urbana e populações atendidas por abastecimento de água e esgoto***

As informações referentes às populações total e urbana foram determinados por sub-bacias. Os dados das populações urbana e total foram obtidos por localidade (município e cidades), porém os limite hidrográficos nem sempre coincidem com os limites políticos administrativos. Neste caso, adotou-se para os municípios pertencentes a mais de uma sub-bacia algumas

proporções de distribuição da população. As proporções adotadas foram as definidas no *Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003* [CBH-PCJ, 2002].

O mesmo procedimento foi adotado para a determinação das populações urbanas atendidas pelos serviços de abastecimento público, coleta e tratamento de esgotos em localidades cuja população está distribuída em mais de uma sub-bacia. Para a análise da evolução dos índices de atendimento da população urbana por esses serviços, tomaram-se por base estimativas realizadas no âmbito do *Programa de Investimentos para Proteção e Aproveitamento dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá*, referente ao *Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição – PQA* [SRHSO, 1999].

**c) Disponibilidades hídricas em termos de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$**

Para a obtenção das informações sobre as disponibilidades hídricas, tomaram-se como referencial estudos de regionalização de vazões realizados no âmbito do *Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição – PQA* [SRHSO, 1999]. Obteve-se, assim, dados de vazões naturais na forma de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ . Para a determinação da disponibilidade hídrica das sub-bacias, considerou-se os seguintes parâmetros:

- $Q_n$  - vazões naturais na forma de  $Q_{7,10}$  e/ou  $Q_{95\%}$  correspondentes às contribuições dos trechos das respectivas sub-bacias, situados à jusante dos reservatórios do Sistema da Cantareira;
- $Q_d$  - vazões descarregadas pelo Sistema da Cantareira nos rios Jaguari e Atibaia;
- $Q_i$  - vazões provenientes de importações;
- $Q_e$  - vazões provenientes de exportações.

Desse modo, a disponibilidade hídrica pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$Q_T = [(Q_n + Q_i + Q_d) - Q_e]$$

Onde:

QT= disponibilidade hídrica total na bacia.

#### ***e) Demandas hídricas***

As informações sobre as demandas de água para abastecimento urbano foi realizada com base em parâmetros que definem os consumos de água nos sistemas públicos de abastecimento (captação, consumo efetivo e medido e índice de atendimento). Tais parâmetros foram definidos e obtidos a partir de estimativas realizadas no âmbito do *Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos Recursos Hídricos das Bacias Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista* [DAEE, 1997]. As informações sobre demanda industrial e agrícola foram obtidas a partir de estudos realizados no âmbito do *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 5* [CETEC, 2001] e do *Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003* [CBH-PCJ, 2002].

#### ***f) Qualidade das águas***

A caracterização da qualidade hídrica da área de estudo foi realizada a partir dos seguintes parâmetros: índice de qualidade das águas (IQA), extensões de cursos de água em desacordo com o enquadramento vigente e carga orgânica potencial e remanescente em termos de DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxigênio). As informações obtidas sobre tais parâmetros tiveram como referencial o *Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo* [CETESB, 2001], o *Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 5* [CETEC, 2001] e o *Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003* [CBH-PCJ, 2002].

### **4.3 Seleção de uma Proposta de Indicadores de Sustentabilidade**

Os indicadores foram selecionados a partir de informações obtidas com o diagnóstico da área de estudo e de uma proposta de indicadores de gestão de recursos hídricos, formulada por Magalhães & Cordeiro Netto. Essa proposta tem como referência a estrutura conceitual de indicadores denominada *Pressão-Estado-Resposta*, formulada pela Organização de

Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 1993. Ela fornece subsídios aos agentes decisores para avaliação e fiscalização do estado do meio ambiente.

A proposta de indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos selecionada a partir da estrutura *Pressão-Estado-Resposta* foi aplicada à área de estudo, fornecendo um diagnóstico das características das sub-bacias hidrográficas da área de estudo. Os indicadores foram utilizados como critérios para a aplicação da análise multicritério, a qual forneceu uma classificação das sub-bacias hidrográficas em ordem de preferência, em relação as demais, por determinadas ações de intervenção.

É importante mencionar que essa etapa do procedimento metodológico deve contar com a participação de um grupo de especialistas, para que a proposta de indicadores selecionada seja verificada e ajustada segundo a opinião dos mesmos. Porém, no escopo deste trabalho, a proposta de indicadores não foi submetida a julgamento, uma vez que objetivo do mesmo restringiu-se apenas a testar o procedimento formulado.

#### **4.4 Definição de Categorias de Ações de Intervenção**

A partir de um plano de ação recomendado para a unidade de gerenciamento de recursos hídricos estudada, definiu-se um conjunto de ações de intervenção para proteção, conservação e uso racional de seus recursos hídricos. Nesse caso, definiram-se as categorias de intervenções a partir do “Plano de Ação” do *Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição – PQA* [SRHSO, 1999].

#### **4.5 Aplicação do Método Multicritério**

A aplicação de um método multicritério em problemas de tomada de decisão na gestão de recursos hídricos é uma tarefa bastante delicada, que depende da familiaridade do decisor com a metodologia adotada e da natureza das informações disponíveis [ZUFFO, 1998].

A natureza do banco de dados e informações é fator determinante para a escolha do método adequado. Neste caso, o método multicritério utilizado foi o ELECTRE III, que tem por finalidade classificar ações por grau de importância ou prioridade. O método elabora as comparações internamente a partir de informações fornecidas pelo agente decisor sobre suas preferências, permitindo que o mesmo expresse suas preferências durante a comparação de alternativas. Para tanto, usa-se o conceito de pseudocritério que, por meio de relações de comparações difusas, permite que o agente decisor expresse suas preferências, fixando limites de indiferença ( $q$ ), de preferência estrita ( $p$ ) e de veto ( $v$ ) e escolhendo os pesos que deverão medir o grau de importância dos critérios [CORDEIRO NETTO & SOUZA, 2000]

Para a aplicação do modelo multicritério escolhido, definiram-se os seguintes procedimentos:

a) **Construção da “matriz de performances”**

A *matriz de performances* resume as informações relativas a um conjunto de ações  $A=\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  avaliadas em relação a uma família de critérios  $F=\{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ . É a partir dessa matriz que se realiza um procedimento de agregação multicritério visando comparar as ações em nível global [YU, 1991]. A Figura 4.1 ilustra a matriz de avaliação das ações em relação aos critérios ( $g_1(a_1), g_2(a_2), \dots, g_n(a_n)$ ).

	$g_1$	...	...	$g_j$	...	...	$g_n$
$a_1$	$g_1(a_1)$	...	...	$g_j(a_1)$	...	...	$g_n(a_1)$
...	...	...	...	...	...	...	...
$a_i$	$g_1(a_i)$	...	...	$g_j(a_i)$	...	...	$g_n(a_i)$
...	...	...	...	...	...	...	...
$a_m$	$g_1(a_m)$	...	...	$g_j(a_m)$	...	...	$g_n(a_m)$

Figura 4.1: Matriz de *performances* das ações.

Adaptado de YU, 1991.

a) **Atribuição de pesos e valores aos parâmetros  $p$ ,  $q$  e  $v$**

Para a atribuição de importância relativa aos indicadores, adotou-se uma escala de pesos de 0 a 1. Dessa forma, para cada categoria de intervenção analisada, os pesos foram atribuídos de forma arbitrária, de modo que a somatória de todos os pesos fosse igual a 1. Ou seja, realizou-se uma ponderação relativa dos parâmetros, que pode ser representada da seguinte maneira:

$$\sum_{j=1}^N p_j = 1$$

onde:

$p_j$  = peso relativo ao parâmetro  $j$ ;

$N$  = número de parâmetros.

O modelo ELECTRE III requer, também, a definição dos parâmetros  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{q}$  e  $\mathbf{v}$ , os quais expressam as incertezas inerentes aos critérios avaliados. Nesse caso, a fixação dos limites  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{q}$  e  $\mathbf{v}$  foi realizada com base em recomendações. Para tanto, recorreu-se a referenciais teóricos que dessem algum suporte nesse sentido. Segundo ROGERS & BRUEN (1998), existe uma grande subjetividade envolvida na determinação de tais parâmetros, que normalmente são expressas em termos de erros e/ou incertezas associadas aos valores de cada critério submetido a julgamento. Os autores sugerem que, para uma aproximação mais realística dos valores de  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{q}$  e  $\mathbf{v}$ , erros e incertezas inerentes aos critérios e o bom senso devem ser levados em conta.

Segundo ROY et al. (1986) apud ROGERS & BRUEN (1998), a fixação desses limites envolve não somente a estimativa do erro (no sentido físico), mas também a introdução de um elevado grau de subjetividade do próprio decisor. O autor define  $\mathbf{p}$  como sendo um valor substancialmente maior que  $\mathbf{q}$ , porém a estimativa de  $\mathbf{p}$ , por exemplo, como um múltiplo de  $\mathbf{q}$  não tem embasamento físico. É muito mais razoável definir  $\mathbf{p}$  como sendo o ponto em que a diferença entre valores do critério em questão produz, segundo a percepção humana, uma *clara preferência* de uma ação sobre outra. Quanto ao limiar  $\mathbf{v}$ , o autor define que o mesmo pode ser escolhido arbitrariamente pelo decisor, entretanto, recomenda que seu valor seja

fixado tomando-se por referência o valor de  $p$ . Seu valor poderia ser fixado, por exemplo, como três vezes maior que o valor de  $p$ .

Ressalte-se que essa etapa deve ser realizada junto a um grupo de decisores, para que os pesos atribuídos aos indicadores e os parâmetros do ELECTRE III ( $p, q$  e  $v$ ) possam ser verificados e ajustados de acordo com as preferências e interesses dos mesmos. No escopo deste trabalho, entretanto, os pesos e parâmetros não foram submetidos a julgamento pelos decisores, uma vez que o mesmo limitou-se apenas em testar o procedimento formulado.

#### ***b) Simulação com o ELECTRE III***

Tendo-se elaborado a matriz de performances, atribuído importância relativa aos parâmetros (pesos) e fixado os limites  $p$ ,  $q$  e  $v$ , realizou-se a simulação com modelo multicritério ELECTRE III, para se estabelecer uma ordenação preferencial de cada sub-bacia, em relação às demais, por determinado tipo de ação de intervenção.

## 5. Diagnóstico da Área de Estudo

### 5.1 Considerações Iniciais

Em razão da vinculação do presente trabalho com estudos realizados no âmbito de um projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa/FAPESP, intitulado *Caracterização das Condições de Uso e Qualidade dos Recursos Hídricos no Município de Paulínia, Estado de São Paulo*, Processo N° 99/00411-1, definiu-se como objeto de estudo a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – UGRHI 5, do Estado de São Paulo.

O território da UGRHI 5 corresponde, basicamente, à Região Administrativa de Campinas, abrangendo uma das regiões mais desenvolvidas e de grande importância para o Brasil, devido a sua posição geográfica, concentração industrial e produtividade agrícola. Entre outros fatores, a região abrange também importantes centros de ensino e pesquisa do País.

Neste capítulo, apresenta-se uma breve caracterização da área de estudo, onde são abordados aspectos físicos, socioeconômicos e demográficos, particularmente aqueles relacionados com o uso de recursos hídricos. Quanto às características físicas, destacam-se os tipos de relevo e a estrutura rochosa do terreno, além de fatores climáticos e hidrológicos. Esses aspectos são responsáveis pelos diferentes tipos de drenagem, regimes hidrológicos e disponibilidades hídricas da região, repercutindo direta e indiretamente na quantidade e na qualidade das águas nas diferentes zonas das bacias em questão.

No que diz respeito a características demográficas e socioeconômicas, destacam-se aquelas mais relacionadas com a urbanização, a industrialização e a diversificação da agricultura. Esses fatores são os principais responsáveis pelas intensas transformações ambientais que vêm ocorrendo na região. A intensidade e as formas de uso e ocupação da terra também são responsáveis pela degradação do meio físico, principalmente dos recursos hídricos.

A área de estudo foi segmentada em sete sub-bacias, com a finalidade de se obter uma análise compartimentada dos seguintes aspectos: disponibilidade hídrica, usos e demandas hídricas, atendimento por sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, qualidade das águas e fontes de poluição domésticas e industriais, e uso e a ocupação da terra e demografia.

Em síntese, os dados aqui descritos e as informações dele obtidas servirão de base para o desenvolvimento das próximas etapas do trabalho; ou seja, definição de indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos, mensuração e ponderação dos indicadores e aplicação ao caso estudado.

## 5.2 Aspectos Físicos e Socioeconômicos

A área de estudo se localiza na região leste do Estado de São Paulo, desde a divisa com Minas Gerais até o reservatório da Usina de Barra Bonita, no Rio Tietê, com uma área de drenagem de aproximadamente 14.040 km<sup>2</sup>. Essa área corresponde a cerca de 92% da área total das bacias que a compõe, que é da ordem de 15.320 km<sup>2</sup>. O restante – 1.280 km<sup>2</sup> – pertence ao Estado de Minas Gerais, onde se localizam as cabeceiras dos rios Jaguari e Camanducaia.

O território da UGRHI 5 abrange três bacias, cujos principais cursos de água são afluentes da margem direita do Tietê Médio Superior. O Quadro 5.1 apresenta as três bacias com as respectivas áreas de drenagem. Também são apresentados os percentuais correspondentes a cada bacia em relação a UGRHI 5.

Quadro 5.1: Área da bacia (km<sup>2</sup>) e percentual em relação a UGRHI 5.

Bacia	Área	Percentual
Rio Piracicaba	11.320,0	80,6
Rio Capivari	1.570,0	11,2
Rio Jundiáí	1.150,0	8,2
Total	14.040,0	100

Fonte: CBH-PCJ, 2002.

A Bacia do Piracicaba drena uma área de aproximadamente 11.320 km<sup>2</sup> e tem como principais constituintes os rios Atibaia, Camanducaia, Corumbataí, Jaguari e Piracicaba, que tem sua foz no Reservatório de Barra Bonita. Também faz parte da bacia o reservatório de Salto Grande ou Americana, situado no Rio Atibaia, Atibainha, Cachoeira e Jaguari. A bacia apresenta um desnível topográfico de cerca de 1.400 m em uma extensão de 370 km, desde suas cabeceiras, na Serra da Mantiqueira, Estado de Minas Gerais, até sua foz, no Rio Tietê.

A Bacia do Capivari apresenta área de drenagem de aproximadamente 1.570 km<sup>2</sup> e tem como principais constituintes os rios Capivari e Capivari-Mirim. O desnível topográfico da bacia é pequeno, da ordem de 250 metros, em um percurso de 180 km, desde suas nascentes na Serra do Jardim, a 750 metros de altitude, até a sua foz, no Rio Tietê.

A Bacia do Jundiá possui área de drenagem de cerca de 1.150 km<sup>2</sup> e tem como principais constituintes os rios Jundiá-Mirim, Piraí e o Jundiá, que nasce na Serra de Pedra Vermelha, no município de Mairiporã, desaguando na margem direita do Rio Tietê, no Reservatório da Usina de Porto Góes, situado no município de Salto.

As respectivas bacias e seus principais corpos de água e sedes municipais estão ilustrados na Figura 5.1.



Figura 5.1: Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (UGRHI 5) e seus principais rios.

A Bacia do Piracicaba é constituída por cinco sub-bacias, cujas áreas de drenagem total e na UGRHI estão apresentadas no Quadro 5.2.

Quadro 5.2: Área total (km<sup>2</sup>) e área na UGRHI 5 (km<sup>2</sup>).

Bacia	Total	UGRHI 5
Rio Atibaia	2.820	2.820
Rio Camanducaia	1.030	860
Rio Jaguari	3.290	2.180
Rio Corumbataí	1.690	1.690
Rio Piracicaba	3.770	3.770
Total	12.600	11.320

Fonte: CBH-PCJ, 2002.

Resumindo-se as informações contidas nos quadros 5.1 e 5.2, apresenta-se, no Quadro 5.3, as sete sub-bacias que compõem a UGRHI 5, assim como suas respectivas áreas de drenagem e seus percentuais correspondentes a essa unidade.

Quadro 5.3: Área de drenagem total e na UGRHI 5 em km<sup>2</sup> e percentual na UGRHI 5.

Bacia	Total	UGRHI 5	Percentual
Rio Atibaia	2.820	2.820	24,9
Rio Camanducaia	1.030	860	7,6
Rio Jaguari	3.290	2.180	19,2
Rio Corumbataí	1.690	1.690	13,4
Rio Piracicaba	3.770	3.770	29,9
Rio Capivari	1.570,0	1.570,0	10,2
Rio Jundiáí	1.150,0	1.150,0	7,6
Total	15.320,0	14.040,0	100

Fonte: CBH-PCJ, 2002.

Os limites geográficos da UGRHI 5 são a UGRHI 9 – Bacia Hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu – ao norte; divisa entre os estados de São Paulo e Minas Gerais (leste); UGRHI 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – sudoeste; UGRHI 6 – Bacia Hidrográfica do Alto Tietê – Sul; UGRHI 10 – Bacia Hidrográfica dos Rios Sorocaba e Médio Tietê – oeste; UGRHI 13 – Bacia Hidrográfica dos Rios Tietê e Jacaré – noroeste.

A UGRHI 5 abrange áreas de 71 municípios, dos quais apenas 44 possuem sede e área total no território da Unidade. Dos restantes, quatorze possuem sede e área parcial na UGRHI 5 e treze possuem sede fora e área parcial na Unidade.

A região que compreende a UGRHI 5 situa-se na porção centro-leste da Bacia Sedimentar do Paraná, sobre um terreno constituído por rochas cristalinas, sedimentares e basálticas. O relevo possui características diferentes de uma região para outra, em virtude da presença do Planalto Atlântico, situado ao leste, da Depressão Periférica, na porção centro-oeste e as Cuestas Basálticas, restritas a uma pequena faixa no extremo-oeste da região.

O Planalto Atlântico corresponde a uma região de terras altas, sendo caracterizado pelo embasamento cristalino. As zonas compreendidas nesta região apresentam relevo montanhoso, com altitudes na faixa de 750 m a 1.200 m. Essas zonas são drenadas pelas sub-bacias dos rios Camanducaia, Atibaia, Jaguari e Jundiáí. A Depressão Periférica é composta por rochas sedimentares. Constitui-se numa faixa com cerca de 50 km de largura, embutida entre as

Cuestas Basálticas e o Planalto Atlântico, com predomínio de topografia colinosa. Já as Cuestas Basálticas constituem-se num frontão caracterizado pelo relevo escarpado no contato com a Depressão Periférica e por relevos suavizados, dispostos em forma de grandes plataformas estruturais [CETEC, 2001].

O território está sob influência das massas de ar Tropicais Atlântica e Continental e Polar Atlântica. O clima apresenta diferenças regionais, em razão da distância ao mar e dos fatores “topo-climáticos”, como por exemplo, a Serra do Mar. Esta atua como um “divisor-climático”, afetando a distribuição e ocorrência das chuvas. O regime pluviométrico é tropical típico, com um período chuvoso e um período de estiagem. Ao leste, nas cabeceiras dos formadores do Rio Piracicaba, na região Mantiqueira, as precipitações são da ordem de 1.500 mm anuais. A jusante – ao oeste –, a temperatura aumenta e a precipitação diminui, chegando a 1.300 mm anuais.

As distintas formas de relevo, constituídas por diferentes estruturas rochosas e a pluviosidade ao longo da bacia, com distribuição e intensidade irregulares das chuvas, são responsáveis pelos diferentes tipos de drenagem, regimes hidrológicos e disponibilidades hídricas, naturalmente diferenciados de uma bacia para outra.

### **5.2.2 Aspectos Demográficos**

A distribuição da população no território paulista tem suas raízes na economia, sendo fortemente influenciada pela interiorização do desenvolvimento industrial e desconcentração da Grande São Paulo. Embora o processo seja recente, a população das UGRHIs industrializadas ainda totaliza cerca de 72% da população do Estado. A densidade demográfica média é da ordem 498 hab./km<sup>2</sup>, superando a média estadual (137 hab./km<sup>2</sup>).

Na UGRHI 5, também houve diminuição na taxa de crescimento populacional, passando de 3,12 % a.a., na década de 80, para 2,15% a.a., no período de 1991 a 1996. Nesse período, a população atingiu cerca de 3,87 milhões de habitantes, com densidade demográfica de 243 hab./km<sup>2</sup> e taxa de urbanização de 93%. Esses valores são superados apenas pelas UGRHIs da Baixada Santista, com densidade demográfica de 547 hab./km<sup>2</sup> e taxa de urbanização de 100%

e do Alto Tietê, com densidade demográfica de 2.392 hab./km<sup>2</sup> e taxa de urbanização de 97%. Essa última concentra cerca de 48% da população do Estado (DAEE, 2001).

O Quadro 5.4 apresenta as populações por sub-bacias para o ano 1996, assim como suas estimativas até o ano 2010. É importante mencionar que há municípios cujas populações estão localizadas em mais de uma sub-bacia. Assim, a estimativa da população por sub-bacias foi realizada com base nas seguintes proporções:

- Campinas - 48% na sub-bacia do Rio Atibaia, 9% na sub-bacia do Rio Piracicaba e 43% na sub-bacia do Rio Capivari;
- Charqueada - 70% na sub-bacia Rio Corumbataí e 30% na sub-bacia do Rio Piracicaba;
- Piracicaba – 90% na sub-bacia do Rio Piracicaba e 10% na sub-bacia do Rio Corumbataí;
- Santo Antônio de Posse – 70% na sub-bacia do Rio Jaguari e 30% na sub-bacia do Rio Camanducaia.

Quadro 5.4: População total e urbana e taxa de urbanização (T<sub>urb</sub>) (%).

Sub-bacia	2000			2005			2010		
	Total	Urbana	T <sub>urb</sub>	Total	Urbana	T <sub>urb</sub>	Total	Urbana	T <sub>urb</sub>
Atibaia	874.219	821.687	94	945.675	899.272	95	899.272	1.010.620	96
Camanducaia	81.479	61.488	75	88.948	69.161	78	69.161	96.326	80
Jaguari	311.803	274.299	88	347.286	313.519	90	313.519	382.908	92
Corumbataí	235.804	225.658	96	261.656	252.849	97	252.849	287.766	97
Piracicaba	1.448.316	1.379.068	95	1.610.628	1.542.006	96	1.542.006	1.773.601	96
Capivari	532.793	504.659	95	568.974	545.416	96	545.416	599.989	97
Jundiaí	731.742	704.969	96	804.636	782.557	97	782.557	878.121	98
Total	4.216.157	3.971.828	94	4.627.804	4.404.780	95	4.404.780	5.029.328	96

Fonte: CBH-PCJ, 2002.

### 5.2.3 Uso e ocupação da terra

A partir de meados dos anos 70, verificou-se forte interiorização das atividades econômicas no Estado de São Paulo, induzida por políticas do Governo Federal, visando atenuar as desigualdades regionais. A desconcentração industrial da Região Metropolitana de São Paulo – RMSP – transformou a região que abrange as respectivas bacias numa das frentes mais avançadas da economia paulista, com destaque para a grande diversificação de sua base produtiva e presença de indústrias intensivas em capital e tecnologia.

O processo de interiorização do desenvolvimento industrial e a modernização da agricultura resultaram numa acelerada urbanização da região que compreende as bacias do Rio Piracicaba, Capivari e Jundiaí. O crescimento da RMSP em direção ao interior do Estado, seguindo a Rodovia Anhanguera, provocou uma conurbação quase contínua, desde a Grande São Paulo até a cidade de Americana. Essa rodovia constitui o principal eixo viário de estruturação da malha urbana na UGRHI 5. Ao longo dela, estão cidades importantes, como Jundiaí, Campinas, Americana, Limeira e Piracicaba. Além das vantagens locais, a bacia pode contar com uma base agrícola, que, impulsionada por políticas de incentivo à substituição energética (proálcool) e às culturas de exportação, transformou a região num grande pólo agroindustrial (DAEE, 1997).

Quanto ao uso e ocupação da terra, as principais atividades econômicas desenvolvidas nas bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí são a indústria e agropecuária. Entre as atividades industriais, destacam-se ramos químico, metalúrgico, eletroeletrônico, mecânico e têxtil, além de segmentos agroindustriais. Em relação à agropecuária, predominam as culturas de cana-de-açúcar e laranja. Na UGRHI 5, o uso e a ocupação da terra podem ser classificados nas seguintes categorias:

1. Cobertura vegetal natural (mata, capoeira, cerrado, vegetação natural de várzea);
2. Culturas perenes (café, citrus e fruticultura);
3. Culturas temporárias (algodão, amendoim, arroz, feijão, mandioca, milho, soja, trigo, cana-de-açúcar, etc.);
4. Outras culturas (pastagens, campo antrópico e reflorestamento);
5. Área urbana e sistema rodoviário;
6. Área industrializada e de mineração.

Assim, as principais tipologias de uso e ocupação da terra estão distribuídas por sub-bacias da UGRHI 5, conforme o Quadro 5.5

Quadro 5.5: Uso e ocupação da terra na UGRHI 5 –Área (Km<sup>2</sup>).

Bacia	Área Drenagem	Agricultura		Cobertura Vegetal Natural	Reflorestamento	Pastagens/Campo Antrópico	Área Urbana e Industrial
		Tempor.	Perman.				
Atibaia	2.820,0	117,3	68,9	343,0	123,9	2.017,6	149,8
Camanducaia	860,0	7,0	78,0	38,7	43,9	680,1	12,3
Jaguari	2.180,0	424,6	385,8	74,4	63,2	1.182,3	49,8
Corumbataí	1.690,0	372,6	35,5	126,0	87,5	1.027,5	41,0
Piracicaba	3.770,0	1.412,5	209,9	162,0	35,9	1.720,9	229,8
Capivari	1.570,0	733,0	21,8	35,2	35,6	652,7	91,7
Jundiaí	1.150,0	72,9	20,1	146,9	64,8	727,8	117,5
Total	14.040,0	3.139,8	820,0	926,1	454,8	8.008,7	691,9

Fonte: CBH-PCJ, 2002.

Os dados mostram o predomínio de pastagens e/ou campo antrópico na UGRHI 5. Em seguida, destacam-se a agricultura temporária, áreas de cobertura vegetal natural, agricultura permanente, áreas de reflorestamento e áreas urbanas e industriais, respectivamente.

A distribuição global das tipologias de uso e ocupação da terra na UGRHI 5, em termos percentuais, é apresentada no Quadro 5.6

Quadro 5.6: Distribuição percentual das tipologias de uso e ocupação da terra.

Bacia	Agricultura		Cobertura Vegetal Natural	Reflorestamento	Pastagens/Campo Antrópico	Área Urbana e Industrial
	Tempor.	Perman.				
Atibaia	3,73	8,40	37,03	27,25	25,19	21,65
Camanducaia	0,22	9,51	4,18	9,65	8,49	1,78
Jaguari	13,52	47,05	8,03	13,90	14,76	7,20
Corumbataí	11,87	4,32	13,60	19,24	12,83	5,93
Piracicaba	44,99	25,60	17,49	7,88	21,49	33,21
Capivari	23,35	2,66	3,80	7,83	8,15	13,25
Jundiaí	2,32	2,45	15,87	14,25	9,09	16,98
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Em termos percentuais globais, verifica-se que a maior incidência de pastagens e/ou campo antrópico está na sub-bacia do Rio Atibaia, com 25% da área da UGRHI 5 destinada a essa atividade. Em seguida, estão as sub-bacias do Rio Piracicaba, com 21,5%, Rio Jaguari, com 15% e Corumbataí, com 13%.

Observa-se, também, o predomínio da agricultura nas sub-bacias dos rios Piracicaba, Jaguari e Capivari, correspondendo, respectivamente, a cerca de 41%, 19% e 23,5% da área total da UGRHI 5 destinada às culturas permanentes e temporárias. As atividades agrícolas

temporárias e, em menor escala, as permanentes são responsáveis pela ocorrência de erosões e contaminações por defensivos agrícolas.

Observam-se, ainda, maiores incidências de áreas urbanas e industriais nas sub-bacias dos rios Piracicaba (33%), Atibaia (22%), Jundiá (17%) e Capivari (13%). São áreas que contemplam centros urbanos de ocupação intensa, áreas de expansão urbana em processo de ocupação recente e, ainda, núcleos e complexos industriais. As áreas de ocupação mais recentes estão sujeitas a erosões mais intensas.

Em termos percentuais relativos, o Quadro 5.7 apresenta para cada sub-bacia da UGRHI 5 a distribuição percentual das principais tipologias de uso e ocupação da terra.

Quadro 5.7: Principais tipologias de uso e ocupação da terra relativa à área da sub-bacia (%).

Bacia	Agricultura		Cobertura Vegetal Natural	Reflorestamento	Pastagens/Campo Antrópico	Área Urbana e Industrial
	Tempor.	Perman.				
Atibaia	4,16	2,44	12,16	4,39	71,54	5,31
Camanducaia	0,82	9,07	4,50	5,10	79,08	1,43
Jaguari	19,48	17,70	3,41	2,90	54,23	2,28
Corumbataí	22,05	2,10	7,45	5,18	60,80	2,43
Piracicaba	37,47	5,57	4,30	0,95	45,65	6,10
Capivari	46,69	1,39	2,24	2,27	41,57	5,84
Jundiá	6,34	1,75	12,78	5,63	63,29	10,22
Total	22,36	5,84	6,60	3,24	57,04	4,93

Na sub-bacia do Rio Piracicaba, predominam áreas de pastagens e/ou campo antrópico, cerca de 46%, seguida da agricultura canavieira, com cerca de 37,5% da área da sub-bacia. Observa-se, também, que as áreas de cobertura vegetal natural e as áreas de reflorestamento correspondem a 5,3% da área da sub-bacia. Quanto às áreas urbanas e industriais, essas representam cerca de 6% da área da bacia.

Na sub-bacia do Rio Jaguari, destacam-se áreas de pastagens correspondem a 54% da área da sub-bacia. Em seguida, o destaque é para a agricultura, com cerca de 37% da área da sub-bacia, com predomínio da cana-de-açúcar e a citricultura. Quanto às áreas de cobertura vegetal natural e de reflorestamento, o índice é da ordem de 6,3% da área. As áreas urbanas e industriais ocupam 2,3% da área da sub-bacia.

## 5.3 Aspectos Hidrológicos

### 5.3.1 Disponibilidade hídrica

A avaliação da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é realizada com base nas formas de ocorrência e distribuição dos recursos hídricos. Para isso, analisa-se o comportamento de algumas variáveis hidrológicas, que, segundo TUCCI (2001), estão sujeitas à influência dos seguintes fatores: evapotranspiração, radiação solar, relevo, geologia, geomorfologia e solos, cobertura vegetal, uso da terra e ações antrópicas sobre o sistema fluvial. A combinação desses fatores resulta em grande variabilidade de seus valores em diferentes locais da bacia de estudo.

A avaliação de variáveis como vazões mínimas ou de estiagem, na forma de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  e a vazão média de longo período ( $Q_m$ ) são bastante utilizadas em planejamento e gestão de recursos hídricos, para análise e previsão da disponibilidade hídrica e da qualidade dos recursos hídricos.

Segundo o autor citado, a vazão mínima ou de estiagem não pode ser caracterizada como sendo os menores valores de uma série histórica. Também não pode ser caracterizada como sendo as vazões da série que não atendem às necessidades hídricas, pois um rio, mesmo em cheia, pode não atender às demandas de seu entorno.

Desse modo, a vazão mínima ou de estiagem não pode ser caracterizada apenas por um valor da série histórica e sim pela quantidade de água e pela duração  $d$ , já que o uso da água não é um processo instantâneo. Como a vazão mínima está relacionada com a duração, utilizam-se normalmente valores de vazões mínimas característicos, como indicadores das condições de estiagens de um rio.

Os mais utilizados são a vazão mínima com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e a vazão de 95% da curva de permanência ( $Q_{95\%}$ ) e vazão média de longo período ( $Q_m$ ). Essas variáveis dependem da magnitude da bacia e variam dentro da mesma, onde a relação entre elas, de forma adimensional, define um indicador mais abrangente e com menor

variabilidade. O índice obtido permite identificar a relação entre duas condições de vazão mínima usualmente utilizadas. A vazão mínima  $Q_{95\%}$  caracteriza uma situação de permanência, ao passo que a  $Q_{7,10}$  indica uma situação de estado mínimo TUCCI (2001).

A vazão média indica a disponibilidade hídrica máxima da bacia, pois a vazão média é a maior vazão que pode ser regularizada. Sua estimativa permite a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para as diversas finalidades. Assim, a relação entre a vazão média e a vazão mínima, representada por uma vazão característica ( $Q_{95\%}$  ou  $Q_{7,10}$ ), constitui-se num indicador que expressa a necessidade de regularização de um rio.

Conhecer a disponibilidade hídrica atual de uma bacia hidrográfica e ter uma previsão da disponibilidade futura é um dos primeiros passos para o planejamento e a gestão do uso de seus recursos hídricos. A disponibilidade hídrica superficial de uma região é caracterizada a partir de vazões mínimas ou de estiagem e de vazões médias (TUCCI, 2001).

Para a análise da disponibilidade hídrica, adotaram-se os valores de vazões naturais, obtidos no referente estudo, correspondentes aos sub-sistemas hídricos considerados. Para cada sub-bacia, os valores vazões naturais  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  estão apresentados no Quadro 5.8 assim como a área de drenagem correspondente ao segmento hídrico considerado.

Esses valores correspondem à somatória das vazões obtidas em cada trecho do segmento de rio considerado e às vazões acumuladas por trecho de rio a montante. Para a sub-bacia do Piracicaba, os valores de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  referem-se a vazão no final do Trecho 1 e as vazões na entrada do Reservatório de Barra Bonita (Trecho 2). Para as demais sub-bacias, os valores de referem-se as vazões na foz dos respectivos rios.

Quadro 5.8: Vazões naturais  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  acumuladas e por trecho de rio.

Bacia	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Vazões Naturais (m <sup>3</sup> /s)			
		$Q_{7,10}$ Trecho	$Q_{95\%}$ Trecho	$Q_{7,10}$ Acum.	$Q_{95\%}$ Acum.
Rio Atibaia	1.914 da jusante da barragem de Atibainha (até sua foz, na Represa de Salto Grande)	7,32	11,01	7,32	11,01
Rio Camanducaia	1.057 da nascente do rio à sua foz, junto ao Rio Jaguari	3,75	5,59	3,75	5,59
Rio Jaguari	2.059 da jusante da barragem de Jaguari/Jacareí (SABESP) à sua foz, junto ao Rio Piracicaba	5,38	8,03	9,13	13,62
Rio Corumbataí	1.719 da nascente do rio até sua foz, junto ao Rio Piracicaba	4,96	8,06	4,96	8,06
Rio Piracicaba (1ºtrecho)	1.362 da jusante da Represa de Salto Grande até sua confluência com o Rib. Cachoeira	2,67	4,14	19,12	28,77
Rio Piracicaba (2ºtrecho)	1.301 do final do Trecho 1 até o início do reservatório de Barra Bonita	2,85	4,79	26,94	41,63
Rio Capivari	1.123 da nascente do rio até sua foz junto ao rio Tietê	2,50	4,33	2,50	4,33
Rio Jundiá	1.570 20 km à jusante da nascente do rio até sua foz junto ao rio Tietê	2,26	3,92	2,26	3,92

Fontes: SRHO, 1999; CBH-PCJ, 2002.

Conforme disposto no Plano de Bacia Hidrográfica 2000/2003, o potencial de recursos hídricos superficiais das bacias e sub-bacias da UGRHI 5 não está totalmente disponível para uso na própria região. Isso se deve à parcela que é revertida, através do Sistema da Cantareira, para a Bacia do Alto Tietê. Na região de estudo, o Sistema da Cantareira compreende reservatórios de regularizações, situados nos rios Atibainha e Cachoeira (sub-bacia do Rio Atibaia) e nos rios Jacareí e Jaguari (sub-bacia do Rio Jaguari). Esses reservatórios são responsáveis pelas exportações de 31,0 m<sup>3</sup>/s para a RMSP e pela descarga a jusante da vazão de 4 m<sup>3</sup>/s, sendo 3,0 m<sup>3</sup>/s no Rio Atibaia e 1,0 m<sup>3</sup>/s no Rio Jaguari.

Além das exportações de água para a RMSP, verificam-se no território da UGRHI 5 as exportações internas. Essas exportações de água são as seguintes:

- do Rio Atibaia para a o Rio Jundiá Mirim (bacia do Rio Jundiá), para abastecimento do Município de Jundiá;

- da sub-bacia do Rio Atibaia para as bacias dos rios Capivari e Piracicaba, por meio do sistema de abastecimento de água de Campinas;
- da sub-bacia do Rio Jaguari para as sub-bacias dos rios Atibaia e Piracicaba.

No apresenta-se no Quadro 5.9 as disponibilidades hídricas totais para as bacias e sub-bacias da UGRHI 5. Para cada sub-bacia, os valores foram calculados considerando-se as vazões naturais mínimas ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ ) determinadas por trecho de rio.

Quadro 5.9: Vazão natural ( $Q_n$ ), regularizada ( $Q_d$ ), importada ( $Q_i$ ), exportada ( $Q_e$ ) e disponibilidade hídrica ( $Q_T$ ) em ( $m^3/s$ ).

BACIA	$Q_n$ ( $m^3/s$ )		$Q_d$ ( $m^3/s$ )	$Q_i$ ( $m^3/s$ )	$Q_e$ ( $m^3/s$ )	$Q_T$	
	$Q_{7,10}$	$Q_{95\%}$				$Q_{7,10}$	$Q_{95\%}$
Atibaia	7,32	11,01	3,00	1,18	2,32	9,18	12,87
Camanducaia	3,75	5,59	-			3,75	5,59
Jaguari	5,38	8,03	1,00	0,01	2,2	4,19	6,84
Corumbataí	4,96	8,06	-	0,03	0,44	4,55	7,65
Piracicaba	5,52	8,93	-	2,68	0,03	8,17	11,58
Capivari	2,5	4,33	-	1,53	0,24	3,79	5,62
Jundiaí	2,26	3,92	-	1,04	-	3,30	4,96
Total	31,69	49,87	4,00	6,46	5,22	36,93	55,11

Nota: valores referentes ao ano de 1996

Fontes: SRHO, 1999; CBH-PCJ, 2002.

Os resultados mostram que a disponibilidade hídrica total na UGRHI 5 para as vazões naturais  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  é da ordem de  $37 m^3/s$  e  $55 m^3/s$ , respectivamente. As maiores vazões  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  são verificadas nas sub-bacias dos rios Atibaia ( $9,0 m^3/s$  e  $12,8 m^3/s$ , respectivamente) e Piracicaba ( $8,0 m^3/s$  e  $11,6 m^3/s$ , respectivamente). As menores disponibilidades hídricas encontram-se nas sub-bacias dos rios Camanducaia ( $3,7 m^3/s$  e  $5,6 m^3/s$ , respectivamente) e Jundiaí ( $3,3 m^3/s$  e  $4,9 m^3/s$ , respectivamente).

### 5.3.2 Demanda e consumo de água

#### a) Demanda urbana

A avaliação das demandas de água para abastecimento urbano foi realizada com base em parâmetros que definem os consumos de água nos sistemas públicos de abastecimento. Tais parâmetros foram definidos e obtidos no *Plano Integrado de Aproveitamento e Controle dos*

*Recursos Hídricos das Bacias Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista*, elaborado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) para a Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras (SRHO), em 1997.

Desse modo, a avaliação da demanda urbana de água foi realizada considerando-se os seguintes componentes:

1. Volume captado - volume de água retirado do manancial, incluindo o uso nas ETA's com lavagem de filtros e outras descargas;
2. Volume produzido - volume de água produzido pela concessionária e fornecido aos sistemas de distribuição
3. Consumo medido - volume de água registrado pela concessionária como fornecido aos usuários em um determinado período (ano, mês, dia);
4. Consumo efetivo - volume de água efetivamente consumido pela população nas diversas atividades urbanas;
5. População atendida - número de habitantes residentes nas economias atendidas;
6. Índice de atendimento - relação percentual entre a população atendida e a população urbana total.

#### ***b) Captação e produção de água***

A avaliação da captação e produção de água na UGRHI 5 foi efetuada com base em projeções realizadas pelo HIDROPLAN/DAEE, em 1997. As vazões médias captadas foram estimadas admitindo-se que os gastos de águas no processo de tratamento sejam, em média, de 6% do volume de água produzido. Assim, apresentam-se no Quadro 5.10 as vazões médias captadas e produzidas previstas para abastecimento público até o horizonte do ano 2020.

Quadro 5.10: Captação e produção de água nos sistemas de abastecimento público (m<sup>3</sup>/s).

Bacia	2000		2005		2010		2015		2020	
	Capt.	Prod.								
Atibaia	3,05	2,88	3,38	3,19	3,78	3,57	4,11	3,88	4,34	4,10
Camanducaia	0,18	0,17	0,21	0,20	0,23	0,21	0,24	0,23	0,26	0,24
Jaguari	0,92	0,86	1,06	1,00	1,16	1,10	1,26	1,19	1,35	1,28
Corumbataí	0,90	0,85	0,92	0,87	1,04	0,98	1,11	1,05	1,18	1,11
Piracicaba	5,41	5,11	6,06	5,72	6,75	6,37	7,36	6,94	7,89	7,44
Capivari	2,02	1,91	2,19	2,06	2,42	2,29	2,66	2,51	2,80	2,64
Jundiaí	2,94	2,77	3,40	3,21	3,85	3,63	4,28	4,03	4,66	4,39
Total	15,43	14,56	17,23	16,26	19,24	18,15	21,03	19,84	22,47	21,20

Nota: Projeções realizadas com base no ano de 1995.

Fonte: DAEE, 1997.

Os valores indicam que as vazões captadas e produzidas atualmente pelos sistemas de abastecimento público são da ordem de 15,4 m<sup>3</sup>/s e 14,4 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Com a ampliação dos sistemas de produção de água, as vazões a serem produzidas, deverão ser da ordem de 17 m<sup>3</sup>/s, em 2005 e 21 m<sup>3</sup>/s, em 2020.

### *c) Consumos medido e efetivo de água*

A avaliação do consumo de água na UGRHI 5 foi efetuada com base em projeções relativas ao consumos medido e efetivo de água por municípios, realizadas pelo Consórcio Hidroplan, em 1997. Considerou-se nessa avaliação o consumo medido e o consumo efetivo de água nos sistemas de abastecimento público. Esse último engloba tanto o consumo medido quanto as perdas não-físicas, que são constituídas pelas quantidades de água utilizadas pelos consumidores, porém não registradas pelas concessionárias.

No Quadro 5.11, estão identificados os consumos medido e efetivo de água nos sistemas de abastecimento público previstos até o horizonte do ano 2020, para as sub-bacias estudadas.

Quadro 5.11 Consumo medido e consumo efetivo de água em m<sup>3</sup>/s.

Bacia	2000		2005		2010		2015		2020	
	Medido	Efetivo								
Atibaia	2,04	2,46	2,40	2,79	2,67	3,12	2,91	3,40	3,07	3,58
Camanducaia	0,13	0,15	0,15	0,17	0,16	0,19	0,17	0,20	0,18	0,21
Jaguari	0,62	0,74	0,75	0,87	0,82	0,96	0,89	1,04	0,96	1,12
Corumbataí	0,60	0,72	0,65	0,76	0,74	0,86	0,79	0,92	0,83	0,97
Piracicaba	3,65	4,38	4,29	5,00	4,78	5,58	5,21	6,08	5,58	6,51
Capivari	1,34	1,62	1,55	1,81	1,72	2,00	1,88	2,20	1,98	2,31
Jundiaí	1,99	2,38	2,41	2,81	2,72	3,18	3,02	3,53	3,29	3,84
Total	10,36	12,46	12,19	14,22	13,61	15,88	14,88	17,36	15,90	18,55

Nota: Projeções realizadas com base no ano de 1995

Fonte: DAEE, 1997.

#### *d) População atendida por rede de abastecimento público de água*

A avaliação do índice de atendimento urbano por abastecimento foi realizada com base em projeções da população residente nas economias atendidas, realizadas a partir de estudos apresentados em Consócio Figueiredo Ferraz & Coplasa, em 1999.

È importante mencionar que como a população urbana atendida por abastecimento foi estimada por municípios, adotaram-se os critérios de distribuição da população por sub-bacias, definidos no Plano de Bacia 2000/2003. Esse mesmo procedimento foi adotado para a avaliação dos índices de atendimento da população por coleta e tratamento de esgotos domésticos e das cargas poluidoras domésticas.

Segundo dados do Relatório HIDROPLAN/DAEE, os sistemas públicos de abastecimento de água atendem atualmente cerca de 96% da população urbana das sub-bacias da UGRHI 5, o que corresponde a cerca de 3,9 milhões de habitantes. Em algumas delas, o atendimento atinge 98%, com destaque para a sub-bacia do Corumbataí, com índice de 99%.

Dessa forma, as populações atendidas e o índice de atendimento por rede de abastecimento público de água, determinados por sub-bacias até o horizonte do ano de 2010, estão apresentados no Quadro 5.12

As obras programadas para ampliação dos sistemas deverão elevar o índice médio atual da UGRHI 5 de 96% para a meta de 98% da população urbana. Assim, cerca de 5,0 milhões de

habitantes serão atendidos por abastecimento de água em 2010. Esse índice permanecerá até o ano de 2020, quando serão atendidos cerca de 6,0 milhões de habitantes.

Quadro 5.12: População atendida por abastecimento urbano e índice de atendimento (IA).

Bacia	2000			2005			2010		
	População		IA (%)	População		IA (%)	População		IA (%)
	Urbana	Atendida		Urbana	Atendida		Urbana	Atendida	
Atibaia	838.362	795.040	95	928.356	899.115	97	1.023.772	1.004.405	98
Camanducaia	62.076	60.247	97	68.000	66.616	98	73.389	72.049	98
Jaguari	277.293	259.916	94	307.396	301.387	98	335.606	330.534	99
Corumbataí	218.975	217.590	99	230.675	229.548	100	259.043	258.148	100
Piracicaba	1.496.007	1.468.529	98	1.698.274	1.674.118	99	1.896.523	1.869.529	99
Capivari	510.767	498.456	98	565.936	554.804	98	627.840	615.578	98
Jundiaí	749.816	697.802	93	857.686	830.848	97	965.809	945.316	98
Total	4.153.296	3.997.580	96	4.656.323	4.556.437	98	5.181.982	5.095.559	98

Nota: Projeções realizadas com base no ano de 1995.

Fonte: SRHO, 1999.

#### e) *Demanda industrial*

A partir dos anos 60, ocorreu um acentuado desenvolvimento industrial nas bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí, com uma diversificação bastante ampla, desde ramos mais sofisticados como as indústrias eletrônica, mecânica e de material elétrico, até indústrias de maior porte, como a química, petroquímica, bebidas, papel e sucro-alcooleira.

Em decorrência intensa atividade industrial na região, constata-se uma elevada participação do consumo industrial de água na demanda hídrica global da bacia. Esse consumo refere-se basicamente às captações superficiais, independentes das redes públicas e com elevada concentração nas sub-bacias do Atibaia, Piracicaba e Jaguari.

As indústrias utilizam atualmente cerca de 17,8 m<sup>3</sup>/s de água. A maior parcela dessa demanda, que é da ordem de 93,5%, é proveniente de mananciais superficiais e 3,4% de mananciais subterrâneos. Os restantes 3% são obtidos em redes públicas de abastecimento de água. Os grandes consumidores, ou seja, aqueles que apresentam demanda superior a 100 l/s, captam cerca de 72% do volume utilizado pelas indústrias.

As demandas projetadas para uso industrial nas sub-bacias de estudo estão indicadas no Quadro 5.13.

Quadro 5.13: Demanda industrial de água na UGRHI 5 em (m<sup>3</sup>/s).

Bacia	2000	2005	2010	2015	2020
Atibaia	6,54	6,88	7,25	7,55	7,88
Camanducaia	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10
Jaguari	3,07	3,28	3,51	3,70	3,90
Corumbataí	0,95	0,97	0,98	0,99	1,00
Piracicaba	3,74	3,80	3,86	3,42	3,49
Capivari	1,94	1,97	2,02	2,05	2,09
Jundiaí	1,55	1,69	1,83	1,95	1,95
Total	17,86	18,66	19,54	19,75	20,40

Fonte: CBH-PCJ, 2002.

#### *f) Demanda agrícola*

Os principais usos de água na área rural referem-se à irrigação e à aquicultura, enquanto os demais usos como o doméstico e a dessedentação de animais são considerados desprezíveis. Estudos indicam que o uso agrícola representa atualmente 19,7% da demanda total global de água na UGRHI 5.

No que diz respeito à irrigação, as culturas agrícolas permanentes e temporárias ocupam uma área total de 3.960 km<sup>2</sup>, representando cerca de 28% da área da UGRHI 5. O uso da irrigação predomina basicamente nas áreas com os seguintes cultivos: floricultura, citricultura, hortifruticultura, rizicultura e feijão. A cana-de-açúcar é considerada não irrigada, sendo realizada apenas a fertirrigação com resíduos industriais líquidos (vinhoto).

No Quadro 5.14, estão indicadas as áreas cultivadas com culturas agrícolas irrigadas por sub-bacias, assim como as áreas efetivamente irrigadas. Estão indicados, ainda, os percentuais de áreas irrigadas em relação à área da sub-bacia. Os dados foram obtidos do Relatório de Situação/99 e do Plano de bacia 2000/2003.

Quadro 5.14: Área cultivada e efetivamente irrigada em Km<sup>2</sup> e percentual de irrigação.

Sub-bacia	Área Cultivada	Área Irrigada	Percentual
Atibaia	84,1	47,9	0,57
Camanducaia	33,3	16,1	0,48
Jaguari	134,9	27,9	0,21
Corumbataí	98,4	11,1	0,11
Piracicaba	249,9	46,7	0,19
Capivari	47,8	30,4	0,64
Jundiaí	75,6	34,5	0,46
Total	723,9	214,7	0,30

Fonte: CETEC, 1999 e CBH-PCJ, 2002.

Os valores indicam que as áreas efetivamente irrigadas correspondem a 30% da área da cultivada com culturas irrigadas. Os maiores índices de irrigação são verificados na sub-bacias dos rios Capivari, Atibaia e Camanducaia, correspondendo a 64%, 57% e 48%, respectivamente. Nas sub-bacias dos rios Piracicaba, Jaguari e Corumbataí, verificam-se os menores índices de irrigação, que correspondem a cerca de 19%, 21% e 11%, respectivamente.

A demanda de água para a irrigação foi obtida a partir de estimativas realizadas com base nos seguintes parâmetros: época da cultura, precipitação pluviométrica do mês, evapotranspiração do mês, eficiência dos sistemas de irrigação e necessidade de irrigação das culturas (muito, medianamente, pouco e não irrigada). Segundo dados do Plano de Bacia Hidrográfica/2000-2003, a demanda estimada de água para a irrigação estimada é da ordem de 7,45 m<sup>3</sup>/s.

Com relação a aqüicultura, existem um total de 203 usuários de água, o que constitui uma demanda total da ordem de 0,45 m<sup>3</sup>/s. Os sistemas de captação em mananciais superficiais são de pequeno porte, com capacidade até 0,0140 m<sup>3</sup>/s.

Na UGRHI 5, as referidas demandas totais de água para irrigação e aqüicultura estão distribuídas pelas sub-bacias segundo o Quadro 5.15.

Quadro 5.15: Demanda de água para irrigação e aqüicultura na UGRHI5 (m<sup>3</sup>/s).

Sub-bacia	Irrigação	Aqüicultura	Total
Atibaia	1,53	0,093	1,62
Camanducaia	0,54	0,064	0,6
Jaguari	0,54	0,061	0,6
Corumbataí	0,8	0,075	0,88
Piracicaba	2,58	0,087	2,67
Capivari	0,97	0,036	1,01
Jundiaí	0,49	0,031	0,52
Total	7,45	0,447	7,9

Fontes: CETEC, 1999 e CBH-PCJ, 2002.

Verifica-se, assim, que as demandas atuais de água para aqüicultura e irrigação totalizam cerca de 7,90 m<sup>3</sup>/s. Os dados revelam maiores consumos nas sub-bacias dos rios Piracicaba, com 33,8% da demanda global, seguida da sub-bacia do Atibaia, com 20,6% da demanda total do setor. Os menores consumos são verificados nas sub-bacias dos rios Jaguari, Camanducaia, ambos com índices de aproximadamente 0,6 m<sup>3</sup>/s e Jundiaí, com 0,52 m<sup>3</sup>/s.

A evolução da demanda agrícola de água segundo dados Plano de Bacia Hidrográfica 2000/2003 – UGRHI - PCJ, está apresentada no Quadro 5.16. A previsão foi realizada para os horizontes dos anos de 2005 a 2020.

Quadro 5.16: Evolução da demanda agrícola de água (m<sup>3</sup>/s).

Sub-bacia	2005	2010	2015	2020
Atibaia	1,72	1,82	1,82	1,82
Camanducaia	0,64	0,68	0,68	0,68
Jaguari	0,64	0,68	0,68	0,68
Corumbataí	0,9	0,99	0,99	0,99
Piracicaba	2,89	3,00	3,00	3,00
Capivari	1,07	1,13	1,13	1,13
Jundiaí	0,57	0,6	0,6	0,6
Total	8,43	8,9	8,9	8,9

Fonte: CBH-PCJ, 2002.

Os dados revelam que a demanda agrícola será crescente até o horizonte do ano 2010. No entanto, a partir daí está previsto a estabilização dessa demanda, em função de adequações dos sistemas de irrigação e de uso racional da água.

## **5.4 Qualidade da Água e Fontes de Poluição**

Os principais conflitos relacionados ao uso de recursos hídricos na UGRHI 5 são causados pela degradação da qualidade das águas, decorrente principalmente de lançamentos de cargas poluidoras de origem doméstica e industrial.

Com base nesse contexto, realizou-se uma análise da situação atual dos recursos hídricos nas bacias estudadas, da evolução do atendimento da população urbana por sistemas de coleta e tratamento de esgotos e das fontes de poluição doméstica e industrial e dos índices de qualidade das águas superficiais – IQA.

Ressalte-se que para analisar a evolução dos índices de atendimento por coleta e tratamento de esgotos, das cargas poluidoras potenciais e remanescente de origem industrial e doméstica tomaram-se como referência estudos desenvolvidos pela Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras – SRHO.

Esses estudos foram realizados no período de 1998 a 1999, no âmbito do *Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição – PQA*, referente à primeira etapa do *Programa de Investimentos para Proteção e Aproveitamento dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá*.

### **5.4.1 Atendimento por coleta e tratamento de esgotos**

Os dados de atendimento por coleta e tratamento de esgotos foram adequados ao presente estudo, uma vez que os mesmos foram obtidos por municípios, a partir de projeções das populações urbanas atendidas.

Dessa forma, para cada sub-bacia, as populações urbanas atendidas e o índice de atendimento por coleta e tratamento de esgotos, previstos até o ano 2010, estão indicados nos quadros 5.17 e 5.18, respectivamente.

Quadro 5.17: População urbana, População atendida e índice de atendimento por coleta (IA).

Bacia	2000			2005			2010		
	População		IA (%)	População		IA (%)	População		IA (%)
	Urbana	Atendida		Urbana	Atendida		Urbana	Atendida	
Atibaia	838.362	740.265	88	928.356	835.521	90	1.023.772	921.395	90
Camanducaia	62.076	52.348	84	68.000	61.200	90	73.389	66.050	90
Jaguari	510.767	449.529	88	565.936	510.345	90	627.840	566.172	90
Corumbataí	218.975	213.037	97	230.675	225.607	98	259.043	253.480	98
Piracicaba	277.293	239.851	86	307.396	278.362	91	335.606	303.913	91
Capivari	749.816	670.090	89	857.686	783.849	91	965.809	883.270	91
Jundiá	1.496.007	1.383.147	92	1.698.274	1.571.509	93	1.896.523	1.754.967	93
Total	4.153.296	3.748.267	90	4.656.323	4.266.393	92	5.181.982	4.749.246	92

Nota: Projeções realizadas com base no ano de 1995.

Fonte: SRHO, 1999.

Verifica-se que o índice médio de atendimento por rede coletora era, em 2000, de 90% da população urbana total, o que corresponde a cerca de 3,7 milhões de habitantes. Para o horizonte do ano 2005, estima-se o atendimento de uma população de 4,2 milhões de habitantes, isto é, 92% da população urbana total. Verifica-se ainda que a partir desse ano, esse índice médio deverá ser mantido, quando em 2010 a população servida por rede coletora deverá corresponder a cerca de 5,0 milhões de habitantes.

Com relação ao tratamento de esgotos, os dados apresentados no Quadro 5.18 mostram que em 2000, os sistemas de tratamento de esgotos da UGRHI atendiam aproximadamente 17%, da população urbana total. Com a entrada de novas ETES, estima-se para o ano 2005, uma ampliação desse índice para cerca de 89% da população urbana total. Para o horizonte do ano 2010, está previsto o atendimento de 92% da população urbana, ou seja, a partir daquele ano todo esgoto coletado será tratado.

Quadro 5.18: População urbana, População atendida e índice de atendimento (IA) por tratamento.

Bacia	2000			2005			2010		
	População		IA (%)	População		IA (%)	População		IA (%)
	Urbana	Atendida		Urbana	Atendida		Urbana	Atendida	
Atibaia	838.362	106.416	13	928.356	827.820	89	1.023.772	921.395	90
Camanducaia	62.076	3.669	6	68.000	61.111	90	73.389	66.050	90
Jaguari	510.767	10.417	2	565.936	497.967	88	627.840	566.172	90
Corumbataí	218.975	23.706	11	230.675	222.102	96	259.043	253.480	98
Piracicaba	277.293	34.983	13	307.396	270.256	88	335.606	303.913	91
Capivari	749.816	14.861	2	857.686	739.093	86	965.809	883.270	91
Jundiá	1.496.007	510.939	34	1.698.274	1.527.039	90	1.896.523	1.754.967	93
Total	4.153.296	704.990	17	4.656.323	4.145.387	89	5.181.982	4.749.246	92

Nota: Projeções realizadas com base no ano de 1995.

Fonte: SRHO, 1999.

## 5.4.2 Fontes de poluição doméstica

A estimativa das cargas poluidoras domésticas potenciais e remanescentes foi realizada por municípios, com base ano de 1995. O parâmetro analisado foi a DBO<sub>5</sub>, cujos valores adotados foram estimados considerando-se a implementação de intervenções sanitárias nas sub-bacias. Ou seja, até o ano de 2005, considerou-se uma intervenção intermediária, abrangendo apenas alguns municípios da sub-bacias. Após esse ano, considerou-se a conclusão de todas as obras previstas em todos os municípios.

Os valores estimados com base nessa situação foram adequados ao caso estudado. As cargas poluidoras potenciais e remanescentes e o índice de remoção de carga poluidoras pelos sistemas de tratamento de esgotos, estão indicadas no Quadro 5.19.

Quadro 5.19: Carga orgânica potencial e remanescente urbana e taxa de remoção (TR).

Bacia	2000			2005			2010		
	Carga (tonDBO/dia)		TR	Carga (tonDBO/dia)		TR	Carga (tonDBO/dia)		TR
	Potencial	Reman.	(%)	Potencial	Reman.	(%)	Potencial	Reman.	(%)
Atibaia	44,9	36,1	19,5	49,8	5,8	88,2	54,9	5,5	90,0
Camanducaia	3,4	2,8	16,3	3,7	0,4	88,9	4,0	0,4	90,0
Jaguari	21,7	17,5	19,4	23,9	3,0	87,4	26,0	2,6	90,0
Corumbataí	11,8	10,4	11,6	12,5	1,4	88,4	14,0	1,4	90,0
Piracicaba	81,0	51,9	35,9	91,9	12,1	86,9	102,6	10,3	90,0
Capivari	27,7	24,9	10,2	30,7	4,0	87,1	34,1	3,4	90,0
Jundiaí	40,5	36,8	9,2	46,3	7,2	84,4	52,2	5,2	90,0
Total	230,9	180,4	21,9	258,8	34,0	86,9	287,7	28,8	90,0

Nota: Projeções realizadas com base no ano de 1995.

Fonte: SRHO, 1999.

Segundo os resultados das projeções realizadas com base no ano de 1995, em 2000 as cargas poluidoras urbanas globais eram da ordem de 231 tonDBO/dia, permanecendo 180 tonDBO/dia após tratamento, o que significa um índice de remoção de carga orgânica de apenas 22%. Em 2005, estima-se que a carga potencial será de 258 ton DBO/dia e a carga remanescente será da ordem de 34 tonDBO/dia, ou seja, o índice de tratamento da carga orgânica poluidora potencial deverá atingir 87%. Os resultados indicam, ainda, que esse índice deverá atingir 90% em 2010.

### 5.4.3 Fontes de poluição industrial

As principais fontes com grande potencial de poluição na UGRHI 5 são as indústrias químicas e petroquímicas, de papel e celulose, alimentícias e as de açúcar e álcool. Para essas indústrias, o índice de remoção de carga orgânica dos efluentes industriais é da ordem de 60%, com exceção das indústrias sucro-alcooleiras. Para esse setor, a remoção de carga orgânica poluidora é bastante significativa (cerca de 99%), visto que os efluentes líquidos gerados são reciclados nos processos industriais ou utilizados na fertirrigação [CETEC, 2000].

Nas sub-bacias estudadas, a evolução das cargas orgânicas industriais potenciais e remanescentes foi baseada nos índices de remoção da carga potencial observados no ano de 1995. Dessa forma, os mesmos índices foram mantidos para as sub-bacias analisadas, com exceção da sub-bacia do Rio Jundiá, onde as condições sanitárias são muito críticas. Nesse caso, considerou-se a evolução das cargas orgânicas com 90% de remoção.

Assim, no Quadro 5.20 estão apresentadas as cargas orgânicas potenciais e remanescente referentes aos anos 2000, 2005 e 2010. Também estão indicados os respectivos índices de remoção de carga orgânicas.

Quadro 5.20: Carga orgânica potencial e remanescente industrial e taxa de remoção (TR).

Bacia	2000			2005			2020		
	Carga (tonDBO/dia)		TR	Carga (tonDBO/dia)		TR	Carga (tonDBO/dia)		TR
	Potencial	Reman.	(%)	Potencial	Reman.	(%)	Potencial	Reman.	(%)
Atibaia	48,15	5,98	87,6	48,1	6,5	86,4	49,0	6,7	86,3
Camanducaia	19,08	1,79	90,6	20,0	2,0	90,1	21,1	2,1	89,9
Jaguari	152,25	4,69	96,9	157,9	6,7	95,8	164,1	7,1	95,7
Corumbataí	206,64	1,01	99,5	207,3	1,4	99,3	208,1	1,5	99,3
Piracicaba	111,84	34,11	69,5	114,5	25,3	77,9	121,6	27,4	77,4
Capivari	9,14	0,64	93,0	10,0	0,7	92,6	11,0	0,8	92,6
Jundiá	96,28	8,90	90,8	105,9	9,8	90,8	116,5	10,8	90,8
Total	643,38	57,13	91,1	663,8	52,5	92,1	691,5	56,5	91,8

Nota: Projeções realizadas com base no ano de 1995.

Fonte: SRHO, 1999.

Segundo esses resultados, o índice de remoção global de carga orgânica pelos sistemas de tratamento de efluentes industriais era de cerca de 91%, em 2000. Em algumas sub-bacias, os índices de remoção de carga orgânicas atingiram índices superiores a 90%, com destaque para

as sub-bacias do Corumbataí (99,5%), Jaguari (97%), Capivari (93%). Os menores índices são para as sub-bacias dos rios Piracicaba e Atibaia, com 69,5 e 88%, respectivamente.

### **5.4.3 Índice de Qualidade das Águas - IQA**

Os índices de qualidade das águas são ferramentas bastante úteis para avaliar a qualidade das águas, de forma abrangente e útil. Com esse intuito, utilizou-se Índice de Qualidade das Águas – IQA. Esse índice foi desenvolvido e adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), a partir de um estudo realizado em 1970, pela "National Sanitation Foundation (USA)".

Esse índice é utilizado para avaliar a qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo, porém pode apresentar algumas limitações. Uma delas é uma eventual superestimação da qualidade real do recurso hídrico, visto que o mesmo contempla apenas nove parâmetros. Outra é que seu uso restringe-se a uma avaliação da qualidade das águas limitada apenas à utilização das mesmas para abastecimento público.

Uma vez que esse índice limita-se a uma avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal à utilização das mesmas para abastecimento público, o mesmo incorpora os seguintes parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliforme fecal, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

Para a avaliação da qualidade das águas na UGRHI 5, utilizaram-se valores de IQA, determinados segundo critérios da CETESB, visto que o mesmo possibilita a interpretação das informações de forma abrangente e útil. Assim, os valores obtidos indicam a qualidade das águas brutas numa escala de 0 a 100, classificando-as para abastecimento público de acordo com as seguintes categorias.

- Qualidade Ótima  $79 < IQA \leq 100$ ;
- Qualidade Boa  $51 < IQA \leq 79$ ;

- Qualidade Regular  $36 < IQA \leq 51$ ;
- Imprópria para tratamentos convencionais  $19 < IQA \leq 36$ ;
- Imprópria  $IQA \leq 19$ .

Para a análise desse índice, adotaram-se os valores observados nos pontos de monitoramento da qualidade das águas superficiais, realizado pela CETESB, como indicado no Quadro 5.21.

Quadro 5.21: Pontos de amostragem, descrição e índice de qualidade das águas.

Ponto de Amostragem	Descrição	Índice de qualidade das Águas - IQA	
		1995	2000
<b>Sub-bacia do rio Atibaia</b>			
ATIB 02010	Na captação de Atibaia	62	58
ATIB 02065	Na captação nº 3 de Campinas, na divisa dos municípios de Campinas e Valinhos	50	50
ATIB 02605	Ponte na rodovia SP-332, no trecho que liga Campinas a Cosmópolis	47	43
<b>Sub-bacia do Rio Camanducaia</b>			
CMDC02900	Ponte na rod. SP-340, no trecho que liga Campinas a Mogi-Mirim	60	59
<b>Sub-bacia do Rio Jaguari</b>			
JAGR02800	5 km a montante da confluência com o Rio Atibaia, na localidade de Quebra-Popa	65	68
<b>Sub-bacia do Rio Corumbataí</b>			
CRUM 02500	Ponte próxima à Usina Tamandupá, na localidade de Recreio	54	45
<b>Sub-bacia do Rio Piracicaba</b>			
PCAB02100	Junto à captação de água de Americana, na localidade de Carioba	63	66
PCAB02135	Ponte de concreto da estrada Americana a Limeira, na divisa entre os municípios de Limeira e Santa Bárbara do Oeste	41	38
PCAB02160	Na margem direita, aproximadamente 800 m a montante da foz do ribeirão dos Coqueiros, no município de Iracemópolis	36	35
PCAB02192	Ponte a 50 m do Km 135.3 da estrada que liga Piracicaba a Limeira, próximo à Usina Monte Alegre	33	36
PCAB02220	Margem esquerda, 2.5 Km a jusante da foz do ribeirão Piracicamirim, na captação de Piracicaba	39	37
PCAB02800	Em frente à fonte sulfurosa, junto ao posto 4D-07 do DAEE, na localidade de Artemis	46	40
PCBP02500	Ponte na rodovia SP-191, no trecho que liga Santa Maria da Serra a São Manoel	69	76
<b>Sub-bacia do Rio Capivari</b>			
CPIV02130	Na captação da ETA 4 da cidade de Campinas	50	55
CPIV02200	Ponte na estrada que liga Monte Mor à Fazenda Rio Acima	29	28
CPIV02900	Próximo à foz no Rio Tietê	-	43
<b>Sub-bacia do Rio Jundiá</b>			
JUNA02020	Na Av. Aderbal da Costa Moreira, 50 m a jusante de lançamentos de efluentes industriais	55	49
JUNA04270	Ponte de concreto em Itaici, município de Indaiatuba	36	33
JUNA04900	Ponte na área urbana de Salto, próximo à foz no Rio Tietê	31	22
IRIS02900	Na barragem de captação dos municípios de Salto e Indaiatuba	-	78

Fonte: CETESB, 2001.

Os pontos indicados no quadro acima estão localizados nos rios Atibaia, Camanducaia, Jaguari, Corumbataí, Piracicaba, Capivari e Jundiaí. Para cada sub-bacia, apresentam-se os pontos de amostragem e os respectivos valores de IQA para os períodos de 1995 e 2000. Ressalte-se que os valores de IQA apresentados correspondem a valores médios anuais. No Quadro 5.21, também estão identificados os pontos de amostragem, cujos valores de IQA foram tomados como indicadores para o caso estudado.

Geograficamente, esses pontos estão representados na Figura 5.2, a seguir.



## 5.5 Enquadramento de Corpos de Água

O enquadramento dos corpos de água das sub-bacias da UGRHI 5 é estabelecido pelo Decreto Estadual no 10.755/77 e as classes de usos pelo Decreto Estadual no 8.468/76. Definem-se para as classes os seguintes usos:

### Classe 1

- Águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção.

### Classe 2

- Águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; à irrigação de hortaliças e frutíferas; à recreação de contato primário (natação e mergulho).

### Classe 3

- Águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; à preservação de peixes em geral e de outros elementos da fauna e flora; à dessedentação de animais.

### Classe 4

- Águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento avançado; à recreação; à harmonia paisagística; ao abastecimento industrial; à irrigação; e a usos menos exigentes

A situação atual dos recursos hídricos retrata um cenário bem diferente daquele configurado na legislação vigente (Enquadramento Legal - Decreto estadual 10.755/77). Estudos de simulação da qualidade das águas superficiais indicam que com tratamentos convencionais das cargas poluidoras não é possível obter os enquadramentos de acordo com a lei. Necessita-se, então, de um reenquadramento dos principais rios, que seja compatível com os usos futuros e com a qualidade prevista no horizonte de planejamento considerado [CBH-PCJ, 2002].

O Quadro 5.22 apresenta as classes de usos e os correspondentes percentuais das extensões dos rios, para o enquadramento previsto na legislação e para a situação atual.

Quadro 5.22: Percentual da extensão e a classe de uso para o enquadramento e situação atual.

Principal Rio	Enquadramento		Situação Atual	
	Extensão (%)	Classe de uso	Extensão (%)	Classe
Sub-bacia do Rio Atibaia				
Atibaia	100	2	65 20 15	2 3 4
Sub-bacia do Rio Camanducaia				
Camanducaia	100	2	70 30	2 3
Sub-bacia do Rio Jaguari				
Jaguari	100	2	75 20 5	2 3 4
Sub-bacia do Rio Corumbataí				
Corumbataí	100	2	70 10 20	2 3 4
Sub-bacia do Rio Piracicaba				
Piracicaba	100	2	10 30 60	2 4 Pior que 4
Sub-bacia do Rio Capivari				
Capivari	100	2	15 15 25 35	2 3 4 Pior que 4
Sub-bacia do Rio Jundiá				
Jundiá	25 75	2 4	25 40 35	2 4 Pior que 4

Notas: (1) Trecho a jusante do Sistema da Cantareira; (2) Trecho a montante do Reservatório Barra Bonita.  
Fonte: COPLAENGE, 2000.

## 5.6 Programa de Investimentos Recomendado

A situação atual dos recursos hídricos no território da UGRHI 5 configura-se de maneira bastante crítica. De um lado, as pressões crescentes das demandas, conjugadas com o incremento de cargas poluidoras remanescentes de origem doméstica e industrial, vêm comprometendo de forma acelerada os índices de qualidade das águas dos principais rios.

Por outro lado, o uso e ocupação da terra de forma intensa e desordenada nas bacias que compreendem a UGRHI 5 é fator responsável pelo desenvolvimento de processos erosivos, assoreamento de cursos de água e alterações dos regimes de vazões dos rios.

Em face dessa situação, a Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras – SRHSO desenvolveu estudos para a definição de um programa de investimentos orientado para a

recuperação e conservação da qualidade dos recursos hídricos na UGRHI 5. A partir desses estudos, elaborou-se no período de 1998/1999, o denominado *Programa de Investimentos para Proteção e Aproveitamento dos recursos Hídricos das bacias dos Rios piracicaba, Capivari e Jundiá – Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição (PQA)*.

O referido programa engloba avaliação das condições existentes, realiza previsões das demandas de água futuras, define ações e metas, serviços e obras para a recuperação e conservação dos recursos hídricos até o horizonte do ano 2020, com estimativas dos respectivos custos. Os investimentos previstos deverão ser aplicados em quatro etapas, correspondentes aos seguintes períodos: 1999/2005, 2006/ 2010, 2010/2015 e 2015/2020. A recuperação da qualidade da água deverá ser alcançada somente no final da segunda etapa do Plano, isto é, em 2010 [CBH-PCJ, 2002].

De acordo com a referida fonte, a primeira etapa do PQA estabelece *Plano de Ação* estruturado em duas componentes: Gestão de Recursos Hídricos e Serviços e Obras. A primeira visa propiciar os instrumentos e o arcabouço necessários à efetiva gestão dos recursos hídricos das bacias envolvidas. A segunda contempla ações corretivas e programas de abastecimento e melhorias da produção de água, coleta e tratamento de esgotos urbanos, tratamento de esgotos industriais, regularização de vazões, drenagem urbana e controle de cheias, coleta e disposição de resíduos sólidos e recuperação de áreas degradadas.

### **5.6.1 Metas do Programa**

Dada a abrangência e atualidade do *Plano de Ação do PQA*, o mesmo serviu de base para a elaboração do *Pano de Bacia 2000/2003*, do Comitê das Bacias Hidrográficas do Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - CBH-PCJ. Considerando sua abrangência, atualidade e período de execução de 6 anos, foi proposto que o *Plano de Ação do PQA* fosse adequado para o período 2000/2003. Para isso, os objetivos e metas de curto prazo do referido *Plano de Bacia* deveriam coincidir com os previstos nos quatro primeiros anos do *Plano de Ação*.

Estabeleceu-se, assim, por meio da Resolução CBH-PCJ nº 81/99, que o referido *Plano de Ação* passasse a constituir-se nas metas gerais do *Plano de Bacia 2000/2003*. Foi mantida,

dessa forma, a estrutura do *Plano de Ação do PQA*, composta das componentes de gestão dos recursos hídricos e de serviços e obras. Apresentam-se, assim, as seguintes metas pretendidas, com a execução das ações englobadas no *Plano de Bacia*.

1. Desenvolvimento técnico e institucional dos órgãos gestores de recursos hídricos;
2. Capacitação técnica de recursos humanos;
3. Implantação do sistema de cobrança pelo uso da água;
4. Atendimento de 98% da população urbana por sistemas de abastecimento de água;
1. Redução de 25% dos índices de perdas dos sistemas de abastecimento de água;
2. Atendimento de 92% da população urbana com coleta de esgotos;
3. Remoção de 47% da carga poluidora dos esgotos urbanos;
4. Remoção de no mínimo 80% da carga poluidora dos efluentes industriais;
5. Economia de água pela racionalização dos usos;
6. Implantação de programas de conservação do solo e mananciais;
7. Melhoria e controle das disposições dos resíduos sólidos;
8. Recuperação de áreas degradadas críticas;
9. Melhoria da educação ambiental em relação aos recursos hídricos.

É importante ressaltar que após o período de abrangência do *Plano de Bacia 2000/2003*, está previsto a implantação das ações contempladas no *Programa de Investimentos do PQA*. Estes horizontes correspondem à 2ª, 3ª e 4ª etapas do referido programa.

Por último, destaque-se que o ano 2010 é o horizonte definido pelo PQA para a recuperação dos recursos hídricos da região de abrangência da UGRHI 5. A partir desse ano, os resultados previstos no referido plano são os seguintes:

1. Melhorias técnicas e institucionais dos órgãos gestores de recursos hídricos;
2. Aprimoramento dos controles das outorgas e das cobranças pelo uso das águas;
3. Manutenção do índice de abastecimento de 98% da população urbana e 25% para as perdas nos sistemas de abastecimento de água;
4. Manutenção do índice de 92% da população urbana com coleta de esgoto;
5. Incremento para 80% da remoção da carga poluidora urbana;

6. Manutenção de 80% da remoção da carga poluidora industrial;
7. Redução das pressões das demandas pela racionalização do uso da água;
8. Melhorias de produção de água;
9. Recuperação e preservação da qualidade das águas e ecossistemas;
10. Monitoramento e controle da qualidade das águas dos mananciais;
11. Recuperação das áreas degradadas e conservação do solo;
12. Melhorias da educação ambiental da população;
13. Combate e controle da poluição difusa.

### **5.7 Considerações Finais**

Como indicado na introdução, este capítulo é de fundamental importância para o desenvolvimento das próximas etapas do trabalho. Além de uma visão geral sobre as características físicas, demográficas, hidrológicas e de uso dos recursos hídricos da área de estudo, o diagnóstico aqui realizado orienta o processo de escolha e ponderação dos indicadores de sustentabilidade, assim como das ações de intervenção.

Face à arbitrariedade associada ao processo de escolha e ponderação dos indicadores utilizados, é de fundamental importância reunir o máximo possível de dados e informações consistentes sobre a área de estudo. Isso proporciona maior segurança e consistência na escolha dos parâmetros e na atribuição de valores correspondentes e auxilia na interpretação dos resultados obtidos.

Igualmente importantes são as metas estabelecidas pelo *Plano de Ação do PQA*, que serviram de base para identificar categorias de ações voltadas para conservação, proteção e recuperação da qualidade das águas, nas quais as sub-bacias estudadas serão classificadas em ordem de preferência. Tal classificação indicará a necessidade de cada sub-bacia, em relação às demais, de uma determinada ação.

## 6. Análise e Seleção de Indicadores de Sustentabilidade

### 6.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo, analisam-se indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos e definem-se aqueles utilizados neste estudo. Inicialmente, apresentam-se conceitos e funções de indicadores, assim como de critérios que servem de referência para a construção, organização e seleção de indicadores de sustentabilidade.

No que diz respeito ao desenvolvimento, à organização e à seleção de indicadores, a abordagem contempla o modelo *Pressão-Estado-Resposta* (PER). Esse modelo fundamenta-se na noção de causalidade das pressões que as atividades humanas exercem sobre o meio ambiente, modificando a qualidade e a quantidade dos recursos naturais (o estado do meio ambiente). A sociedade responde a essas mudanças, adotando políticas ou ações proteção e recuperação do meio ambiente (respostas da sociedade). Tal estrutura foi formulada pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, em 1993 [OECD, 2002].

A estrutura PER é universalmente reconhecida e utilizada para formulação, organização e seleção de indicadores de meio ambiente. O modelo fornece subsídios aos agentes decisores para avaliação e fiscalização do estado do meio ambiente. Dessa forma, eles poderão avaliar em que medida necessitam colocar em prática suas políticas de meio ambiente.

Nesse contexto, apresenta-se uma proposta metodológica de indicadores destinados a auxiliar a gestão de recursos hídricos no Brasil. Essa metodologia foi formulada por Magalhães & Cordeiro Netto, que tendo como referência o modelo PER, visou ao desenvolvimento, à avaliação e à seleção de indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos. O desenvolvimento, a avaliação e a seleção dos indicadores foi feita com base num “*Painel Delphi*”, aplicado em todo País. Os participantes do painel deveriam avaliar e selecionar

indicadores considerados prioritários para a gestão de recursos hídricos, em níveis local e agregado.

Por último, com base nos resultados da experiência mencionada anteriormente, selecionou-se um conjunto de indicadores de gestão do uso de recursos hídricos. Tendo-se em vista que uma proposta de indicadores deve ser flexível o bastante para refletir as especificidades locais, consideraram-se indicadores avaliados em nível local.

## **6.2 Definição e Funções de Indicadores**

Um indicador pode ser definido como um parâmetro<sup>1</sup> ou um valor derivado de parâmetros, que dispõe de informações acerca de um dado fenômeno ou situação. Sua importância vai além das propriedades associadas diretamente ao valor do parâmetro. Os indicadores reduzem o número de medidas e parâmetros que são usualmente requeridos para a representação de uma dada situação [OCDE, 2002].

Há, contudo, restrições quanto ao número de parâmetros utilizados e à quantidade de detalhes agregados. Um grande número de parâmetros e detalhes em um único indicador tende a mascarar o seu valor e o que ele representa, devido às particularidades de cada parâmetro empregado. Por outro lado, um número muito reduzido de parâmetros e detalhes pode ser insuficiente para prover as informações necessárias. Ressalte-se, ainda, que problemas metodológicos relacionados com a ponderação tendem a se intensificar com o aumento do nível de agregação.

Entre as vantagens no uso de indicadores destaca-se a simplificação no processo de comunicação, pelo qual a informação chega ao usuário. Porém, devido a essa simplificação e à adaptação às necessidades e interesses do usuário, os indicadores nem sempre atendem demandas científicas específicas. Como indicado pela OCDE (2002), os indicadores devem ser considerados *uma expressão do melhor conhecimento disponível*.

---

<sup>1</sup> É definido como uma propriedade que é medida ou observada (OCDE, 2002).

Como os indicadores são usados para diversos propósitos, é necessário definir critérios para a sua seleção. No caso de indicadores de meio ambiente, três critérios básicos têm sido adotados nos trabalhos da OCDE:

1. *Relevância política e utilidade para os usuários.* Ou seja, os indicadores devem ser representativos das condições ambientais, de pressões sobre o meio ambiente e de respostas da sociedade. Devem ser de fácil interpretação, serem capazes de mostrar tendências no tempo e de reagirem facilmente às mudanças no meio ambiente. Por fim, devem servir de base para comparações globais e ter aplicabilidade em questões regionais de importância nacional.
2. *Confiabilidade analítica.* Isto é, um indicador ambiental deve ser teoricamente bem fundamentado, baseado em consenso e padrões internacionais em relação à sua validade. Deve, ainda, ser aplicável a modelos econômicos, de previsão e em sistemas de informações.
3. *Mensurabilidade.* Ou seja, o dado empregado na formulação do indicador deve conter informações adequadas e qualidade conhecida. O dado deve, também, ser atualizado em intervalos regulares, com rapidez e confiabilidade.

Ressalte-se que os critérios acima mencionados descrevem um indicador “ideal”. Na prática, porém, nem todos os indicadores encontrados atenderão esses critérios.

De maneira geral, indicadores são elaborados visando simplificação, quantificação, análise e comunicação, o que permite entender fenômenos complexos e torná-los mensuráveis e compreensíveis. A tomada de decisão, por exemplo, é um processo dinâmico e complexo, sendo constituído de diferentes níveis de decisão da sociedade. Ou seja, implica diferentes ordens de considerações; culturais, econômicas, institucionais, políticas e ambientais.

Nesse processo, o autor define quatro etapas principais, para as quais a necessidade e uso da informação são diferentes. Essas etapas correspondem à identificação dos problemas, à

formulação das políticas e estratégias, à implementação das políticas e ações e à avaliação das políticas, estratégias e ações.

O uso de indicadores nessas diferentes etapas pode auxiliar a análise e a síntese de grande volume de informações, promover medidas sobre temas prioritários, identificar problemas e áreas de intervenção, fixar objetivos e metas de desenvolvimento e/ou de qualidade ambiental, assim como avaliar tendências e evolução das condições ambientais. Desse modo, os indicadores descrevem e sintetizam um conjunto de situações e medidas individuais para cada tipo de problema, provendo de informações que irão auxiliar à tomada de decisão.

### **6.3. Indicadores Ambientais na Estrutura *Pressão-Estado-Resposta* (PER)**

Existem várias estruturas a partir das quais os indicadores são construídos e organizados. Por outro lado, não há uma única estrutura capaz de gerar indicadores para quaisquer propósitos. Uma estrutura pode, também, sofrer mudanças no tempo, com o aumento do conhecimento científico e dos problemas ambientais e com os valores sociais envolvidos.

Nesse contexto, a OCDE propôs a estrutura *Pressão-Estado-Resposta* (PER) para o desenvolvimento de indicadores, sendo baseada no conceito de causalidade. Ou seja, as atividades humanas exercem pressão sobre o meio ambiente, alterando a qualidade e a quantidade dos recursos naturais. A sociedade responde a essas mudanças por meio de políticas ambientais e econômicas (resposta da sociedade).

Os indicadores de pressão ambiental descrevem as pressões antrópicas sobre o meio ambiente, alterando a qualidade e a quantidade dos recursos naturais. Eles incluem os denominados *indicadores de estresse* (indicam as pressões exercidas diretamente sobre o meio ambiente e recursos naturais) e *indicadores de pressão indireta* (refletem as ações antrópicas que induzem às pressões ambientais diretas).

Já os indicadores das condições ambientais ou indicadores de estado indicam a situação do meio ambiente e a sua evolução no tempo e não as pressões sobre ele. No entanto, na prática, a

distinção entre estado e pressão ambiental pode ser ambígua, dificultando a avaliação das condições ambientais. Assim, utilizam-se, freqüentemente, indicadores de pressão ambiental em lugar dos indicadores de estado.

Os indicadores de resposta social refletem a intensidade com que a sociedade está reagindo às mudanças e preocupações ambientais. As respostas da sociedade referem-se aos esforços individuais e coletivos para mitigar ou prevenir os impactos ambientais. Incluem, também, ações para a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais.

A Figura 6.1 esquematiza o modelo *Pressão-Estado-Resposta*, descrevendo sucintamente as ligações entre as atividades humanas e o meio ambiente. O modelo propõe uma linearização nas relações de interação sociedade e meio-ambiente. No entanto, as relações dentro dos ecossistemas são bem mais complexas.



Figura 6.1: Modelo Pressão-Estado-Resposta.

Fonte: Adaptado de OECD, 2002.

No que diz respeito aos indicadores de resposta social, estes deveriam refletir os esforços da sociedade para conter um problema ambiental. Porém, na prática, alguns aspectos devem ser levados em conta, para se evitar que seu uso tenha interpretação equivocada.

Primeiro, os indicadores de resposta são pouco conhecidos e estão, ainda, em fase de desenvolvimento, tanto em termos conceituais como de disponibilidade de informações. Segundo, a distinção entre indicadores de pressão e de resposta pode tornar-se confusa, quando indicadores de resposta capturam o efeito “*feedback*” de respostas da sociedade às pressões ambientais.

Por último, como indicadores são de natureza quantitativa, os indicadores de resposta social estão restritos a respostas quantitativas. Portanto, respostas expressas em termos qualitativos inexistem numa série de indicadores dessa natureza. Em alguns casos, as respostas podem ser medidas. Na prática, porém, as respostas são muito específicas e numerosas para ser mensuradas. Um exemplo relevante é o caso de padrões e regulações na área tecnológica, que apresentam regras amplas e detalhadas, difíceis de ser expressas com clareza e comparadas internacionalmente [OCDE, 2002].

#### **6.4 A Estrutura Pressão-Estado-Resposta na Gestão de Recursos Hídricos**

A demanda hídrica é o elemento de maior pressão sobre os recursos hídricos. Assim, em regiões onde esse recurso é escasso, em termos quantitativos ou qualitativos ou onde sua distribuição não coincide com a da população e suas atividades econômicas, os usos da água tendem a ser conflitantes. Essa situação requer a distribuição eqüitativa das disponibilidades hídricas entre usos competitivos e o controle das cargas poluidoras, mantendo-as em níveis aceitáveis e compatíveis com a capacidade de assimilação dos cursos de água. Essas e outras medidas devem assegurar a disponibilidade de recursos hídricos para os usos atuais e futuros, respeitando os padrões de qualidade estabelecidos para usos preponderantes.

No entanto, essas medidas de racionalização do uso dos recursos hídricos exigem instrumentos técnicos, legais e institucionais de planejamento e gestão. Nesse contexto, indicadores, como aqueles descritos anteriormente, podem ser instrumentos eficazes de auxílio ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos, segundo os princípios da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Devidamente estabelecidos, eles transformam dados em informações importantes para o processo decisório.

Segundo a OCDE (2002), para cada questão ambiental, os indicadores devem ser desenvolvidos com base nos seguintes aspectos:

- (a) Uma tabela resumando e classificando os indicadores segundo o grau de mensurabilidade. Ou seja, essa classificação é realizada de acordo com a *disponibilidade* do indicador: “S” para indicadores avaliados em curto prazo, “M” para indicadores avaliados em médio prazo<sup>2</sup> e “L” para indicadores avaliados em longo prazo<sup>3</sup>.
- (b) Uma breve descrição da preocupação ambiental e das políticas relevantes, com base nas principais convenções e acordos internacionais;
- (c) Uma breve descrição dos indicadores de *pressão ambiental*, *condição ambiental* e *resposta social*;
- (d) Uma nota relativa à disponibilidade de dados e para cada categoria de indicador.

Uma vez que o enfoque deste trabalho é a questão dos recursos hídricos, o Quadro 6.1 apresenta a estrutura para a construção ou seleção de séries de indicadores sobre recursos hídricos. Os indicadores estão classificados pelo grau de mensurabilidade.

Quadro 6.1: Sumário de Indicadores sobre recursos hídricos.

Indicador	Mensurabilidade
-----------	-----------------

<sup>2</sup>São indicadores que requerem um trabalho empírico adicional de levantamento de dados e informações (OCDE, 1993).

<sup>3</sup>São indicadores que exigem um trabalho complexo de desenvolvimento de dados e informações.

<b>Pressão</b> Intensidade do uso de recursos hídricos Cargas de esgotos despejadas nos rios	S M/L
<b>Estado</b> Frequência, duração e grau de escassez hídrica	M
<b>Resposta</b> Tarifas de água e taxas de tratamento de esgoto	M

Fonte: OCDE, 2002.

Segundo a referida fonte, o uso racional dos recursos hídricos exige que a demanda hídrica não exceda a disponibilidade hídrica por um período muito longo. Para tanto, é necessário dispor de um coeficiente que forneça uma indicação da intensidade do uso dos recursos hídricos. Esse indicador pode ser definido, por exemplo, como a demanda hídrica (líquida ou bruta) pela disponibilidade hídrica. É importante mencionar que, ao contrário da demanda líquida, a demanda bruta é calculada a partir da demanda total, sem descontar a água que é inserida ao meio natural após o uso. Desse modo, um parâmetro constituído por demandas líquidas, retrata o aspecto quantitativo do uso da água. Já um parâmetro representado por demandas brutas, focaliza o aspecto qualitativo, pois a água inserida o meio natural, após o uso, tende a ser de qualidade inferior.

Outro aspecto que merece destaque é o fato de que indicadores de intensidade do uso da água, obtidos em nível nacional, podem ter uma interpretação equivocada. Isso se deve às grandes diferenças regionais no uso da água, que não podem ser medidas adequadamente por um indicador de nível agregado ou nacional.

Já os indicadores de estado devem mensurar as variações dos estoques hídricos durante diferente períodos do ano, assim como entre diferente anos, levando-se em conta a duração e a extensão de uma situação de deficiência de água para abastecimento. Essa variações são capazes de afetar a qualidade hídrica e o equilíbrio ecológico. Os indicadores devem ainda mensurar as variações extremas, na forma de secas e enchentes, onde a questão da regularização também apresenta uma dimensão específica dos riscos ambientais.

A utilização de indicadores de resposta, em questões relacionadas com o uso da água, permite mensurar os esforços da sociedade para reduzir o uso insustentável da água. Esses esforços consistem em medidas impostas aos usuários, restringindo a quantidade da água disponível ou aumentando o seu preço, para estimular seu uso eficiente. Assim, o preço da água e as taxas de tratamento de esgoto, são considerados indicadores adequados. Relacionando-se tais indicadores com o custo atual de tratamento da água e abastecimento, obtém-se, em termos percentuais de custo, uma indicação da disposição do usuário em pagar pelo uso da água.

## **6.5 Indicadores de Sustentabilidade do Uso de Recursos Hídricos**

No Brasil, estudos recentes para avaliação e seleção de indicadores, visando à gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos, foram baseados na aplicação do *Painel Delphi*. Trata-se de uma técnica bastante conhecida e utilizada no país, uma vez que tende a incorporar aspectos relacionados com a variabilidade e a subjetividade em qualquer processo de avaliação. Para tratar esses aspectos, essa técnica utiliza as opiniões de grupos de especialistas. Ou seja, conta com a participação de pesquisadores e cidadãos com competência reconhecida nas diversas áreas do conhecimento. Esse aspecto é fundamental para que processo de avaliação e seleção e de indicadores ambientais tenha credibilidade.

Com base nesses aspectos, MAGALHÃES & CORDEIRO NETTO utilizou um “*Painel Delphi*” para a avaliação e sugestão de indicadores de uso de recursos hídricos. Foi elaborado uma listagem de 66 indicadores que eles denominaram “indicadores de pressão antrópica sobre os recursos hídricos”, incluindo indicadores individuais e indicadores agregados (isto é, que englobam mais de um indicador). Desse modo, o participante do painel poderia avaliar, simultaneamente, um indicador agregado e um componente desse indicador em separado.

A avaliação baseou-se em “valores” associados ao grau de importância do indicador para a gestão dos recursos hídricos. Tal importância deveria ser julgada em termos da maior ou menor adequabilidade do indicador nos dois níveis espaciais: local e agregado (município, estado, região ou país). Adotou-se uma escala de valores de 1 a 5, com os seguintes graus de importância:

1. Indicador muito importante (deverá ser utilizado);
2. Indicador importante (poderá ser utilizado);
3. Indicador pouco importante (será utilizado somente em último caso);
4. Indicador irrelevante (não deve ser utilizado);
5. Em dúvida (no caso de incerteza ou desconhecimento do indicador).

Com base na metodologia adotada, os participantes deveriam escolher, para cada nível espacial (local e agregado), indicadores “prioritários” para a gestão dos recursos hídricos. Os participantes deveriam, também, fazer comentários (sugestões e críticas), principalmente quanto à metodologia utilizada, verificando suas vantagens, desvantagens e restrições.

Segundo os referidos autores, a partir da análise dos resultados agruparam-se os indicadores mais votados em nas seguintes classes:

- Indicadores “muito importantes” - mais de 60% de valores 1;
- Indicadores “importantes” - mais de 60% de valores 1 e 2 somados;
- Indicadores “pouco importantes ou irrelevantes” - mais de 50% de valores 3 e 4 somados.

Dessa forma, apresenta-se no Quadro 6.2 um resumo dos indicadores mais votados e a classificação desses indicadores de acordo com os percentuais de respostas. Nesse caso, a classificação foi realizada com base na avaliação dos indicadores em nível local.

Quadro 6.2 Classificação dos indicadores segundo os percentuais de respostas – em nível local.

Indicador	Percentual de respostas
<i>Muito Importante (60% ou mais de valor 1)</i>	
Densidade populacional (População total, urbana e rural em relação à área)	79
Percentual de área com cobertura vegetal natural	78
Índice de captação de água para abastecimento público urbano per capita (volume de água captado em relação à população atendida por abastecimento público)	72
Índice de tratamento de esgotos coletados	66
Percentual de amostras de água com OD em desacordo com os padrões recomendados	62
Índice de população urbana atendida por rede de esgoto	61

Percentual de amostras de água com DBO em desacordo com os padrões recomendados	60
Índice de disposição adequada do lixo	60
<i>Percentual de indicadores contemplados no total</i>	<i>12</i>
<i>Média Percentual</i>	<i>67</i>
Importante (60% ou mais de valores 1 e 2 somados)	
Índice de Urbanização	84
Índice de consumo médio de água per capita (volume de água consumido relativo à população atendida por abastecimento público)	80
Percentual de população urbana atendida por abastecimento	78

Quadro 6.2: continuação. Classificação dos indicadores segundo os percentuais de respostas – em nível local.

Indicador	Percentual de respostas
Percentual da população urbana atendida por fossa séptica	77
Coefficiente de escoamento superficial	75
Índice de esgoto tratado em relação à água consumida	75
Índice de toxidade de águas subterrâneas	74
Risco de Eutrofização (KgP/hab/ano)	73
Tipologias de áreas cultivadas	71
Índice de atendimento de coleta de esgotos (pop. urb. atend./pop. total)	71
Valores de IQA de águas superficiais	71
Índice de toxidade de águas superficiais	71
Índice de consumo de água	71
Esgotos coletados em relação ao volume de água consumido	71
Vazão captada para irrigação, por unidade de área irrigada ou área total	71
Q <sub>7,10</sub> , Q <sub>30,5</sub> ou outra vazão mínima relativos à área ou a população	70
Índice de atendimento de água	70
IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal)	69
Percentual de amostras com DBO média acima dos padrões recomendados	69
Percentual de água com P total em desacordo com os padrões recomendados	69
Curvas de permanência de vazões (frequência com que ocorrem vazões iguais ou superiores aos valores de uma série temporal)	66
Índice de perdas nos sistemas de abastecimento (volume de água medido em relação ao volume de água produzido)	65
Índice de cobertura de drenagem urbana (percentual da área atendida por rede fluvial)	65
Percentual de extensão dos cursos de água em desacordo com o enquadramento	65
Área coberta por unidades de conservação de uso direto e indireto	65
Percentual de população rural atendida por rede de água ou poços	64
Índice trófico associando parâmetros como transparência da água, clorofila A e P total	64
Vazões médias anuais de longo termo em relação à área ou a população	63
Índice de lixo urbano jogado (Percentual da pop. Que joga lixo a céu aberto)	62

Área irrigada em relação à área total, área plantada ou área ocupada	62
ICV – Índice de condições de vida	61
<i>Percentual de Indicadores Contemplados no Total</i>	47
<i>Média Percentual</i>	70
Pouco Importante ou Irrelevante (50% ou mais para valores 3 e 4 somados)	
População ocupada por setor de atividade relativo população economicamente ativa	72
Índice de densidade de drenagem urbana (comprimento dos cursos de água em relação à área)	58
Rendimento nominal médio mensal per capita	57

Quadro 6.2: continuação. Classificação dos indicadores segundo os percentuais de respostas – em nível local.

Indicador	Percentual de respostas
PIB per capita	55
IDH- Longevidade	50
<i>Percentual de indicadores contemplados no total</i>	7
<i>Média Percentual</i>	58

Fonte: Adaptado de MAGALHÃES & CORDEIRO NETTO.

Da mesma forma, a classificação dos indicadores é feita para o nível agregado. No Quadro 6.3 apresenta-se um resumo dos indicadores mais votados e a classificação dos mesmos segundo os percentuais de respostas.

Quadro 6.3 Classificação dos indicadores segundo os percentuais de respostas – nível agregado.

Indicador	Percentual de respostas
Muito Importante (60% ou mais de valor 1)	
Densidade populacional (População total, urbana e rural em relação à área)	84
Percentual de área com cobertura vegetal natural	78
Índice de captação de água para abastecimento público urbano per capita (volume de água captado em relação à população atendida por abastecimento público)	70
Índice de captação de água para irrigação (em relação à área total e a área irrigada)	64
Índice de tratamento de esgotos coletados	62
Percentual de amostras de água com OD em desacordo com os padrões recomendados	61
Percentual de amostras de água com DBO em desacordo com os padrões recomendados	60
Índice de disposição adequada do lixo	60
<i>Percentual de indicadores contemplados no total</i>	12
<i>Média Percentual</i>	67
Importante (60% ou mais de valores 1 e 2 somados)	
Índice de população urbana atendida por rede de esgoto	87
Índice de urbanização	83
Tipologias de áreas cultivadas	82

(Percentual da área cultivada total em relação à área do município ou área da bacia)	
Percentual da população urbana atendida por abastecimento de água	82
Valores de IQA de águas superficiais	81
Risco de Eutrofização (Kg de P/hab./ano)	81
Índice de consumo médio de água per capita (volume de água consumido relativo à população atendida por abastecimento público)	81
Área irrigada em relação à área total, área plantada ou ocupada	80
Percentual da população urbana atendida por fossa séptica	78
Área coberta por unidades de conservação de uso direto e indireto	78

Quadro 6.3: continuação. Classificação dos indicadores segundo os percentuais de respostas – nível agregado.

Indicador	Percentual de respostas
Q <sub>7,10</sub> , Q <sub>30,5</sub> ou outra vazão mínima em relação à área ou a população	78
Coeficiente de escoamento superficial	78
Percentual de amostras de água com P total em desacordo com os padrões recomendados	77
Percentual de amostras de água com DBO média acima dos padrões recomendados	76
Índice de atendimento de coleta de esgotos	76
Índice de esgoto tratado em relação à água consumida	75
Curvas de permanência de vazões (frequência com que ocorrem vazões iguais ou superiores aos valores de uma série temporal)	74
Produção industrial per capita por ano	74
Índice de consumo médio de água (volume de água consumido relativo à disponibilidade hídrica)	72
Índice de toxicidade de águas subterrâneas	72
Vazões médias anuais de longo termo em relação à área ou a população	68
Esgotos coletados em relação ao volume de água consumido	68
Índice de atendimento de água (Percentual da população atendida por abastecimento de água)	68
Percentual de extensão dos cursos de água em desacordo com o enquadramento	67
IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal)	67
Vazões médias de bombeamento de águas subterrâneas em relação à área e a população	66
ICV – Índice de condições de vida	64
Percentual de população rural atendida por rede de água ou poços	64
Índice de lixo urbano jogado (Percentual da população urbana que joga lixo a céu aberto)	64
Índice de lixo rural jogado (Percentual da população rural que joga lixo a céu aberto)	64
Índice de perdas nos sistemas de abastecimento	63
Índice de produção agrícola per capita por ano	62
Índice de cobertura de drenagem urbana (área drenada por rede fluvial em relação à área total)	62
Presença de certos tipos de peixes	61
Precipitação média anual de longo termo	60
Percentual da população rural atendida por fossa séptica	60
<i>Percentual de Indicadores Contemplados no Total</i>	<i>54,5</i>

<i>Média Percentual</i>	72
Pouco Importante ou Irrelevante (50% ou mais para valores 3 e 4 somados)	
População ocupada por setor de atividade em relação à população economicamente ativa	69
Rendimento nominal médio mensal per capita	59
Índice de densidade de drenagem urbana (comprimento dos cursos de água em relação à área da bacia)	56
IDH- Longevidade	53
PIB per capita	51

Quadro 6.3: continuação. Classificação dos indicadores segundo os percentuais de respostas – nível agregado.

Indicador	Percentual de respostas
<i>Percentual de indicadores contemplados no total</i>	7,5
<i>Média Percentual</i>	57,6

Fonte: Adaptado de MAGALHÃES & CORDEIRO NETTO.

Comparando-se os resultados obtidos entre os dois níveis espaciais, apresentados nos quadros 6.5a e 6.5b, cerca de 59% dos indicadores foram consensualmente aprovados como “muito importantes” ou “importantes” em nível local. Em nível agregado, esse índice sobe para cerca de 67%. Por outro lado, cerca de 7,5% dos indicadores avaliados foram consensualmente classificados como “pouco importante ou irrelevante”, em ambos os níveis espaciais. Os indicadores dessa classe receberam significativos percentuais de respostas, com destaque para os socioeconômicos. A média percentual de respostas para essa classe foi de 58,4 % para o nível local e 57,6% para o nível agregado.

As médias percentuais de respostas dos indicadores de cada classe indicam o grau médio de consenso de cada classe. Os resultados mostram que os percentuais de respostas não são muito distintos para ambos os níveis. Sugere-se, assim, que não haja a diferenciação entre os níveis local e agregado. Alguns indicadores foram consensualmente os mais valorizados grupo, é o caso da densidade demográfica e a percentagem de área com cobertura vegetal natural. Assim, tais indicadores podem ser considerados como indicadores-base e, portanto, devem fazer parte de qualquer proposta de indicadores para a gestão de recursos hídricos [MAGALHÃES & CORDEIRO NETTO].

Destacam-se, ainda, os indicadores que abordam as demandas hídricas para abastecimento público, o tratamento dos esgotos e atendimento da população urbana por rede de esgoto, a disposição adequada do lixo, o grau de urbanização. Merecem destaque, ainda, os parâmetros de qualidade da água (DQO, DBO, OD e P) e o Índice de Qualidade das Águas (IQA). Esse último, embora reconhecido como “importante”, recebeu críticas por agregar diversos parâmetros. Quanto aos níveis espaciais, é importante mencionar que os indicadores relativos à irrigação foram bem valorizados, em nível agregado. Já o indicador relativo ao “percentual de população urbana que joga lixo a céu aberto” foi considerado importante em ambos os níveis.

Os resultados mostram, ainda, que a maioria dos indicadores socioeconômicos foram pouco valorizados. O “IDH Longevidade” foi um dos menos valorizados, assim como a “população ocupada por setor de atividade em relação à população economicamente ativa”, “rendimento médio mensal per capita”, “PIB per capita” e “índice de densidade de drenagem urbana”.

Os autores citados observaram que indicadores que abordam parâmetros biológicos, como por exemplo, os relativos à “presença de certos peixes”. Esses indicadores foram os que receberam maior percentual de valor 5 (em dúvida - no caso de incerteza ou desconhecimento do indicador). Esse fato reflete o desconhecimento do indicador pela comunidade científica e, conseqüentemente, sua sub-utilização no contexto nacional.

Por um lado, o desenvolvimento de propostas de indicadores em nível nacional facilita a aplicação e a comparação interespacial. Por outro lado, uma proposta de indicadores em nível nacional está limitada a um número “fechado” de indicadores. Daí a importância de se obter uma proposta de indicadores que seja “flexível”, isto é, passível de incorporar indicadores locais, quando necessário. Desse modo, a aplicação do painel possibilitou, por meio de sugestões dos participantes, contemplar, também, indicadores que incorporem prioridades locais. Segundo os autores, esse aspecto justifica a importância de se obterem em separado, indicadores para os diferentes níveis espaciais.

Segundo MAGALHÃES & CORDEIRO NETTO, além da escolha e sugestão de indicadores de pressão antrópica sobre os recursos hídricos, a aplicação da *Técnica Delphi* visou avaliar as limitações da estrutura *PER*. Para isso, os autores citados procuraram formular uma proposta de indicadores suficientemente flexível, para refletir as especificidades locais. Ao mesmo tempo, essa metodologia deveria contemplar todo o País, para sua maior abrangência espacial, praticidade e operacionalidade, considerando a carência de dados existente no país.

## **6.6 Definição de Indicadores de Sustentabilidade para o Caso Estudado**

Com base nos resultados do *Painel Delphi* aplicado no País, que estão apresentados nos Quadros 6.2 e 6.3, no banco de dados e informações disponíveis e na estrutura *PER*, selecionaram-se vinte indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos. Procurou-se definir uma proposta de indicadores flexível o bastante para refletir as especificidades locais, Para isso, consideram-se indicadores avaliados tanto em nível local.

No capítulo 7, são determinados os valores de cada um dos indicadores definidos para cada sub-bacia estudada. Depois de definidas as categorias de ações nas quais as sub-bacias são ordenadas em ordem de preferência, atribuíram-se pesos aos indicadores para medir o grau de importância dos mesmos em relação a cada categoria de ação. Define-se, também, para cada indicador os limiares de preferência ( $p$ ), veto ( $v$ ) e indiferença ( $q$ ). Os indicadores depois de ponderados e seus limiares  $p$ ,  $q$  e  $v$  fixados, são aplicados em simulações a partir de um modelo multicritério.

No Quadro 6.4, estão sumarizados os indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos definidos para o caso estudado, levando-se em consideração a estrutura *Pressão-Estado-Rposta (PER)*.

Quadro 6.4: Sumário dos indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos.

INDICADOR	DESCRIÇÃO	UNIDADE
Índice de Cobertura Vegetal Natural	Área com cobertura vegetal natural em relação à área da bacia	%
Índice de Reflorestamento	Área coberta por reflorestamento em relação à área com cobertura vegetal natural	%
Vazão Mínima Específica $Q_{7,10}$	Vazão mínima $Q_{7,10}$ em relação à área total da bacia	$l/s.km^2$
Vazão mínima Específica $Q_{95\%}$	Vazão mínima $Q_{95\%}$ em relação à área total da bacia	$l/s.km^2$
Densidade Demográfica	Relação entre população e a área da bacia	Hab./Km <sup>2</sup>
Índice de Urbanização	Relação entre população urbana e população total	(%)
Índice de Consumo Urbano de Água Per Capita	Relação entre o consumo urbano efetivo anual de água e a população atendida por rede de abastecimento público	m <sup>3</sup> /hab.ano
Índice de Captação Urbana de Água em Relação à Disponibilidade Hídrica Mínima	Relação entre a captação urbana de água e disponibilidade hídrica na forma $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$	%
Índice de Captação Industrial de Água em Relação à Disponibilidade Hídrica Mínima	Relação entre a captação industrial de água e disponibilidade hídrica na forma $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$	%
Índice de Consumo Efetivo de Água na Irrigação em relação à Disponibilidade Hídrica Mínima	Relação entre o consumo efetivo de água na irrigação em relação à disponibilidade hídrica na forma $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$	%
Índice de Área Irrigada	Área irrigada em relação à área cultivada	%
Índice de Atendimento por Rede de Esgoto	Porcentagem da população urbana atendida por rede de esgoto	%
Índice de Tratamento de Esgoto	Porcentagem da população urbana atendida por tratamento de esgoto	%
Índice de Qualidade das Águas Superficiais (IQA)	IQA médio anual	Adm.
Carga poluidora Remanescente Industrial	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> ) remanescente	Ton/dia
Carga poluidora Remanescente Doméstica	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> ) remanescente	Ton/dia
Extensão do Curso de Água em Desacordo com o Enquadramento Legal	Porcentagem do curso de água em desacordo com o enquadramento	%

## 7. Aplicação da Metodologia ao Caso de Estudo

### 7.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo, realiza-se uma aplicação, para o caso estudado, da metodologia empregada. O resultado dessa aplicação é uma classificação das sete sub-bacias analisadas, segundo a necessidade de cada uma delas em relação à determinada ação de intervenção previamente estabelecida. Para tanto, dividiu-se o capítulo em quatro etapas.

A primeira etapa corresponde à mensuração dos indicadores de sustentabilidade do usos de recursos hídricos definidos no Capítulo 6. A segunda trata da identificação de categorias de ações/intervenções, nas quais as sub-bacias são classificadas por ordem crescente de preferência em relação à determinada ação. A definição das categorias foi feita a partir de um *Plano de Ação* estabelecido pelos órgãos gestores da UGRHI 5.

A terceira etapa corresponde à atribuição de peso aos indicadores, de forma arbitrária e orientada. Ou seja, o peso é atribuído ao indicador segundo sua importância em relação à categoria de intervenção avaliada. A partir da valoração dos indicadores adotados, construiu-se a *matriz de performances*, definida em YU (1991), que compõe as informações necessárias para a aplicação do método multicritério adotado. Essa matriz é constituída pelos valores dos indicadores selecionados para todas as sub-bacias avaliadas e pelos pesos atribuídos a todos esses indicadores em cada categoria de intervenção.

Os resultados da aplicação do método multicritério e respectiva discussão constituem a quarta e última parte do capítulo. Nessa etapa, definiu-se, para cada indicador, os parâmetros do método, que, nesse caso, são os limiares do ELECTRE III. Esses parâmetros correspondem às funções **q**, **p** e **v** e estão definidos no Capítulo 3, indicando os limiares de indiferença, preferência e veto entre alternativas, respectivamente. Esses limiares e os pesos são

parâmetros que irão estabelecer ordenações preferenciais das sub-bacias em relação a determinada categoria de intervenção.

## **7.2 Determinação dos Indicadores**

Essa etapa corresponde à quantificação dos indicadores definidos, para que tenham validade em termos de utilização no contexto das bacias hidrográficas estudadas. Para cada indicador analisado, descrevem-se as suas funções, os parâmetros que o constituem e os índices ou valores determinados.

### **7.2.1 Índice de Cobertura Vegetal Natural**

A cobertura vegetal natural da UGRHI 5 é constituída de remanescentes de mata atlântica, de cerrado, de araucária e de matas ciliares, que se apresentam distribuídos na região de forma localizada e restrita. As condições ambientais encontradas hoje são decorrentes da intensa ocupação antrópica, com a substituição da cobertura florestal natural por extensas áreas urbanizadas, industriais e agrícolas.

O desmatamento degrada e altera a cobertura vegetal natural, alterando funções importantes dessa componente no balanço hídrico da bacia. Essa situação requer mecanismos de proteção das áreas com cobertura vegetal natural ainda conservadas, dada a sua importância na proteção do solo e na conservação dos recursos hídricos.

Portanto, o índice de cobertura vegetal natural é um indicador importante da qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica. Estudos recentes, apresentados em MAGALHÃES & CORDEIRO NETTO, indicam que esse índice deve ser considerado como *indicador-base* de qualquer proposta de indicadores de gestão de recursos hídricos. Esse índice é determinado pela relação entre a área com cobertura vegetal natural e a área total da unidade hidrográfica. O Quadro 7.1 apresenta os índices de cobertura vegetal natural das sete sub-bacias analisadas.

Quadro 7.1: Área de cobertura vegetal natural, área de drenagem total (km<sup>2</sup>) e o respectivo índice.

Sub-Bacia	Cobertura Vegetal [a]	Drenagem Total [b]	Índice [a/b]
Rio Atibaia	342,95	2.820,00	0,12
Rio Camanducaia	38,69	860,00	0,04
Rio Jaguari	74,35	2.180,00	0,03
Rio Corumbataí	125,98	1.690,00	0,07
Rio Piracicaba	161,97	3.770,00	0,04
Rio Capivari	35,18	1.570,00	0,02
Rio Jundiá	146,94	1.150,00	0,13
Total	926,06	14.040,0	0,07

Os índices estão representados graficamente na Figura 7.1. Como se observa, os mais baixos valores estão nas sub-bacias dos rios Capivari (0,02) e Jaguari (0,03). Os maiores valores são verificados nas sub-bacias dos rios Atibaia e Jundiá (0,12 e 0,13, respectivamente).

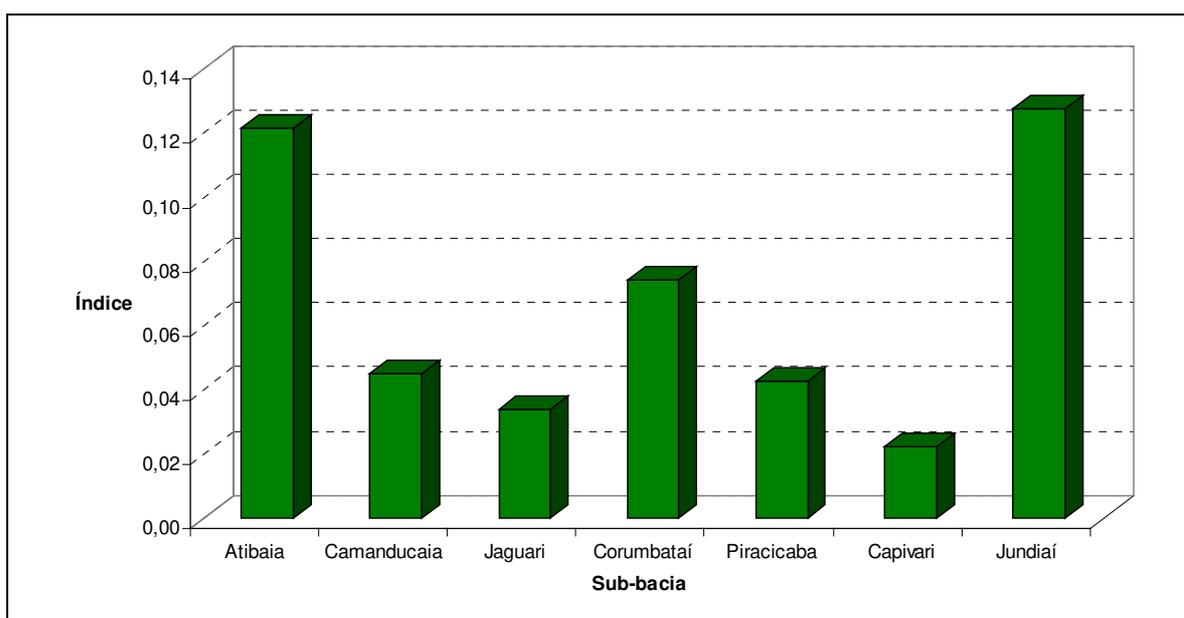


Figura 7.1: Índice de cobertura vegetal natural.

### 7.2.2 Índice de Reflorestamento

Na região de estudo, as áreas de reflorestamento constituem as formações florestais artificiais, disciplinadas e homogêneas, representadas, principalmente, por eucaliptos e pinus. Essas formações são encontradas de forma dispersa, ocupando significativas extensões nas sub-

bacias dos rios Jundiá e Jaguari, notadamente nos municípios de Bragança Paulista, Joanópolis e Jundiá [CETEC, 1999].

No contexto estudado, o reflorestamento constitui um mecanismo de recuperação de áreas degradadas pelo desmatamento, em face das mudanças provocadas por essa ação no balanço hídrico de uma bacia. Considerou-se, assim, o índice de reflorestamento como um indicador dos esforços realizados para conter as alterações provocadas no balanço hídrico, em virtude da interceptação das chuvas, retenção da evapotranspiração e aumento do escoamento erosivo superficial do solo.

O índice de reflorestamento para as sub-bacias estudadas está apresentado no Quadro 7.2. Este índice refere-se à área coberta por unidades de conservação em relação à área com cobertura vegetal natural da sub-bacia considerada.

Quadro 7.2: Área de cobertura vegetal natural, área de reflorestamento (km<sup>2</sup>) e respectivo índice.

Sub-Bacia	Reflorestamento [a]	Cobertura Vegetal [b]	Índice [a/b]
Rio Atibaia	123,93	342,95	0,36
Rio Camanducaia	43,90	38,69	1,13
Rio Jaguari	63,20	74,35	0,85
Rio Corumbataí	87,48	125,98	0,69
Rio Piracicaba	35,85	161,97	0,22
Rio Capivari	35,63	35,18	1,01
Rio Jundiá	64,79	146,94	0,44
Total	454,78	926,06	0,49

Os resultados indicam menores índices para as sub-bacias dos rios Piracicaba (0,22) e Jundiá (0,44). Os maiores índices são verificados nas sub-bacias dos rios Camanducaia (1,13) e Capivari (1,01). Esses índices estão representados, também, na Figura 7.2.

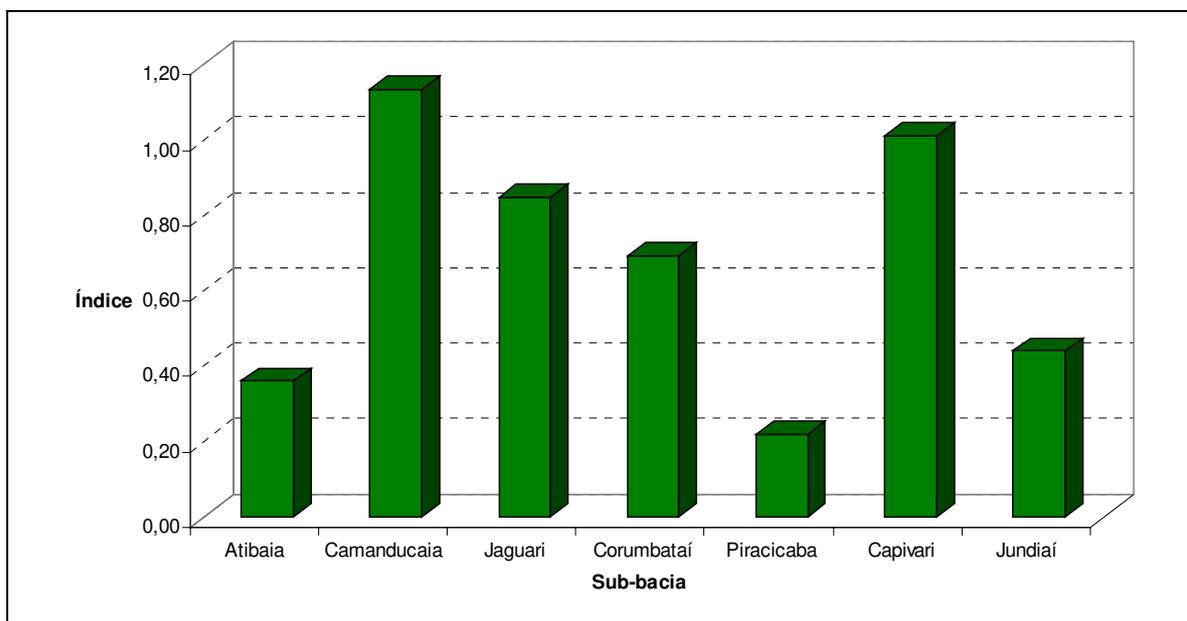


Figura 7.2: Índice de reflorestamento.

### 7.2.3 Vazão Específica Mínima

As vazões específicas traduzidas por  $Q_{7,10}$  e por  $Q_{95\%}$  são indicadores que representam a contribuição unitária mínima da bacia. A primeira caracteriza uma situação de estado mínimo enquanto a segunda caracteriza uma situação de permanência. Desse modo, esses indicadores são utilizados para avaliar a disponibilidade hídrica mínima por unidade de área, indicando áreas críticas quanto à utilização dos recursos hídricos. No Quadro 7.3, apresentam-se os valores desse indicador para as sete sub-bacias analisadas. Ressalte-se que as vazões naturais mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  utilizadas no cálculo dos respectivos indicadores referem-se a valores determinados por trecho de rio.

Quadro 7.3: Vazão mínima  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  em l/s, Área (km<sup>2</sup>) e vazão específica (l/s.km<sup>2</sup>).

Sub-Bacia	Vazão $Q_{7,10}$	Vazão $Q_{95\%}$	Área	Específica $Q_{7,10}$	Específica $Q_{95\%}$
Rio Atibaia	7.320,00	11.010,00	2.820,00	2,60	3,90
Rio Camanducaia	3.750,00	5.590,00	860,00	4,36	6,50
Rio Jaguari	5.380,00	8.030,00	2.180,00	2,47	3,68
Rio Corumbataí	4.960,00	8.060,00	1.690,00	2,93	4,77
Rio Piracicaba	5.520,00	8.930,00	3.770,00	1,46	2,37
Rio Capivari	2.500,00	4.330,00	1.570,00	1,59	2,76
Rio Jundiá	2.260,00	3.920,00	1.150,00	1,97	3,41
Total	31.690,00	49.870,00	14.040,00	2,26	3,55

Os resultados indicam que as menores contribuições unitárias para a vazão  $Q_{7,10}$  são encontrados nas sub-bacias dos rios Piracicaba ( $1,46 \text{ l/s.km}^2$ ), Capivari ( $1,59 \text{ l/s.km}^2$ ), Jundiá ( $1,97 \text{ l/s.km}^2$ ) e Jaguari ( $2,47 \text{ l/s.km}^2$ ). A maior contribuição unitária para a vazão mínima  $Q_{7,10}$  é verificada na sub-bacia do Rio Camanducaia, correspondendo a aproximadamente  $4,36 \text{ l/s.km}^2$ . Essas informações estão resumidas graficamente na Figura 7.3, onde estão apresentadas, também, as contribuições referentes ao  $Q_{95\%}$ .

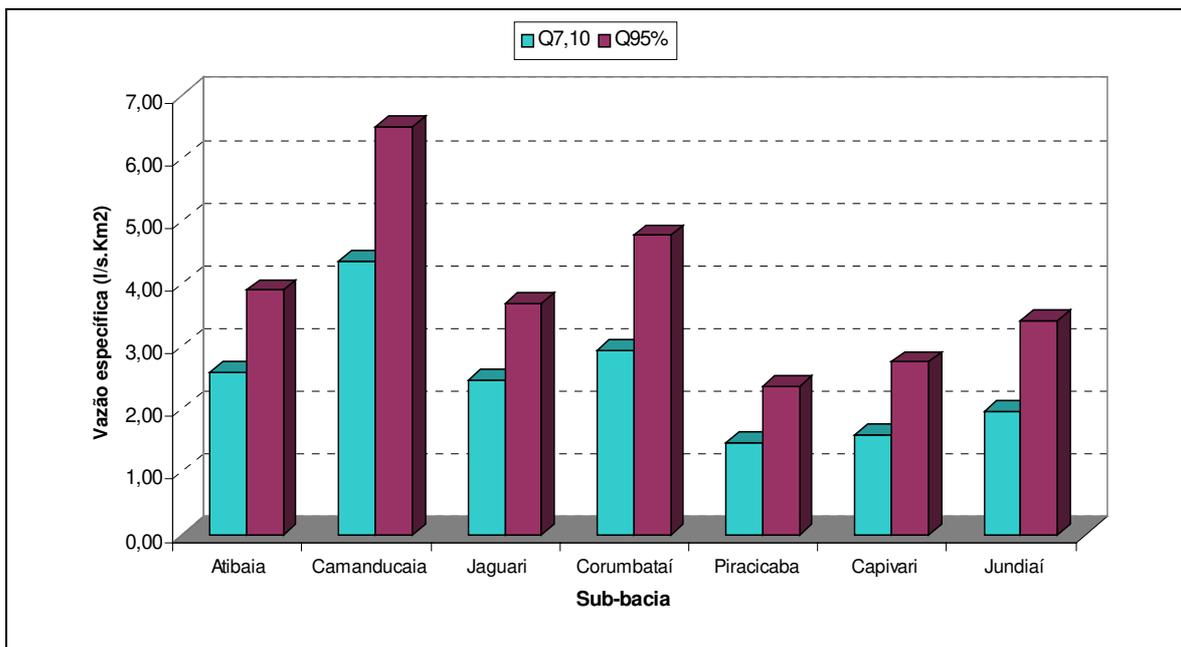


Figura 7.3: Vazões específicas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ .

#### 7.2.4 Índice de Irrigação

O índice de irrigação foi determinado a partir da relação entre a área efetivamente irrigada e a área cultivada com culturas irrigadas. Esse índice é um indicador da intensidade do uso de recursos hídricos na atividade agrícola.

A avaliação desse indicador é importante para avaliar as sub-bacias hidrográficas em relação a ações voltadas para a racionalização do uso de água na irrigação. Assim, no Quadro 7.4, estão apresentados os índices obtidos para as sub-bacias estudadas.

Quadro 7.4: Área efetivamente irrigada (km<sup>2</sup>), área cultivada (km<sup>2</sup>) e índice de irrigação.

Sub-Bacia	Irrigada[a]	Cultivada[b]	Índice [a/b]
Rio Atibaia	47,9	84,1	0,57
Rio Camanducaia	16,1	33,3	0,48
Rio Jaguari	27,9	134,9	0,21
Rio Corumbataí	11,1	98,4	0,11
Rio Piracicaba	46,7	249,9	0,19
Rio Capivari	30,4	47,8	0,64
Rio Jundiá	34,5	75,6	0,46
Total	214,7	723,9	0,30

Segundo esses resultados, o uso de água para a irrigação é mais intenso nas sub-bacias dos rios Capivari (0,64), Atibaia (0,57) e Camanducaia (0,48). Os menores índices são observados nas sub-bacias dos rios Piracicaba (0,19), Jaguari (0,22) e Corumbataí (0,11), como mostra a Figura 7.4.

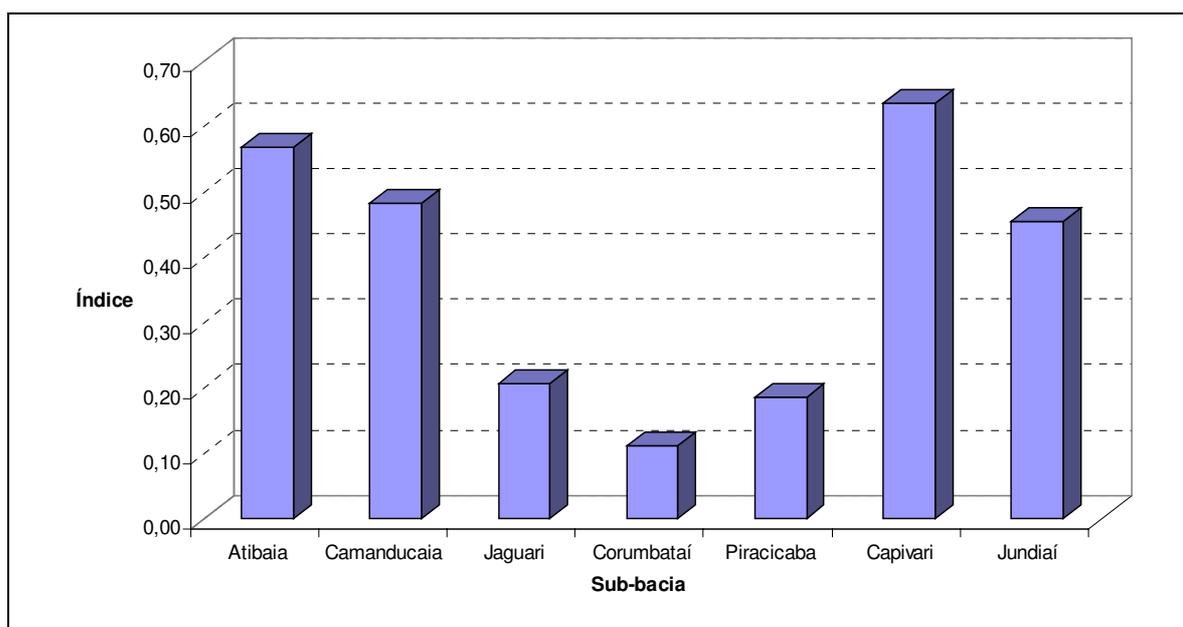


Figura 7.4: Índice de irrigação.

### 7.2.5 Densidade Demográfica

Estudos recentes, apresentados em MAGALHÃES & CORDEIRO NETTO, sobre a avaliação de indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos apontam a densidade demográfica como um *indicador-base*, isto é, que deve ser considerado em qualquer proposta

de indicadores. Adotou-se, assim, o referido indicador para avaliar a intensidade da ocupação antrópica e, conseqüentemente, suas repercussões sobre os recursos hídricos. Esse indicador é utilizado para avaliar as necessidades das sub-bacias em relação às intervenções que proporcionem conservação e proteção dos mananciais e melhoria da qualidade de vida da população. No Quadro 7.5, estão indicados os valores desse indicador para UGRHI 5.

Quadro 7.5 :Área (km<sup>2</sup>), população (Habitantes), densidade demográfica (Hab/km<sup>2</sup>).

Bacia	Área	População	Densidade
Rio Atibaia	2.820	874.219	310
Rio Camanducaia	860	81.479	95
Rio Jaguari	2.180	311.803	143
Rio Corumbataí	1.690	235.804	140
Rio Piracicaba	3.770	1.448.316	384
Rio Capivari	1.570	532.793	339
Rio Jundiá	1.150	731.742	636
Total	14.040	4.216.157	300

Os resultados indicam a maior densidade demográfica para a sub-bacia do Rio Jundiá, com 636 hab./km<sup>2</sup>. Em seguida, as sub-bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Atibaia, com 384, 339 e 310 hab./km<sup>2</sup>, respectivamente. A menor densidade demográfica é observada para as sub-bacias dos rios Jaguari, Corumbataí e Camanducaia, com 143, 140 e 95 hab./km<sup>2</sup>. Essas informações estão resumidas, também, na Figura 7.5.

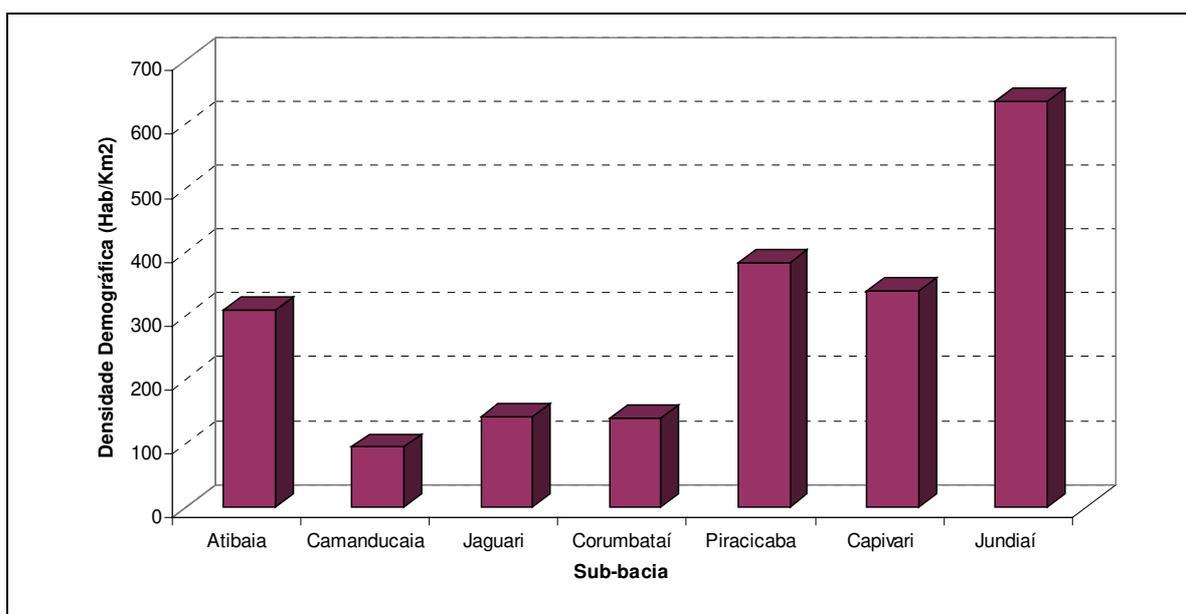


Figura 7.5: Densidade demográfica.

## 7.2.6 Índice de Urbanização

A urbanização é um dos processos antrópicos mais agressivos ao meio ambiente, pois raramente é induzida por alguma política governamental de forma ordenada. Ela se processa geralmente de forma descontrolada, forçando as cidades a abrigarem um número de pessoas superior a uma capacidade ambiental.

Com relação à região de estudo, o acelerado crescimento urbano e industrial e a diversas formas de uso da terra vem provocando grandes alterações no meio físico e intensificando os conflitos pela utilização dos recursos naturais, particularmente os de natureza hídrica. Assim, o índice de urbanização é utilizado como um indicador da intensidade das inter-relações entre o “sistema natural”, composto pelo meio físico e o “sistema antrópico”, constituído pelo homem e suas atividades.

O índice de urbanização é definido como a relação entre a população urbana e a população total da bacia hidrográfica. Os valores desses índices para as sete sub-bacias avaliadas estão indicados no Quadro 7.6.

Quadro 7.6: População total, urbana e índice de urbanização.

Sub-Bacia	Urbana [a]	Total [b]	Índice [a/b]
Rio Atibaia	821.687	874.219	0,94
Rio Camanducaia	61.488	81.479	0,75
Rio Jaguari	274.299	311.803	0,88
Rio Corumbataí	225.658	235.804	0,96
Rio Piracicaba	1.379.068	1.448.316	0,95
Rio Capivari	504.659	532.793	0,95
Rio Jundiáí	704.969	731.742	0,96
Total	3.971.828	4.216.157	0,94

Os maiores índices de urbanização para o ano de 2000 são observados nas sub-bacias dos rios Jundiáí (0,96), Corumbataí (0,96), Piracicaba (0,95) e Capivari (0,95). Para as sub-bacias do Atibaia, Jaguari e Camanducaia, esses índices são da ordem de 0,94, 0,88 e 0,75, respectivamente.

### **7.2.7 Demanda Total de Água em Relação à Disponibilidade Hídrica**

A relação entre a demanda total de água de uma bacia e a sua disponibilidade hídrica mínima, nas formas de  $Q_{7,10}$  e/ou  $Q_{95\%}$ , é o indicador utilizado para classificar áreas críticas quanto à utilização dos recursos hídricos. Conforme estabelecido pelo Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos – CORHI, regiões onde a demanda de água supera 50% da disponibilidade hídrica mínima são consideradas áreas críticas quanto à utilização dos recursos hídricos.

Em virtude da possibilidade de ações de intervenção em setores específicos, esse indicador foi utilizado também de forma desagregada, considerando-se as contribuições dos setores urbano, industrial e agrícola na demanda total da bacia. Nos setores urbano e industrial, considerou-se a captação de água e, no setor agrícola, o consumo efetivo de água para irrigação. Os valores referem-se ao ano de 2000. A partir da relação entre essas componentes e as disponibilidades hídricas mínimas na forma de  $Q_{7,10}$  e de  $Q_{95\%}$ , Obtiveram-se os seguintes índices:

1. Índice de captação urbana de água em relação à  $Q_{7,10}$
2. Índice de captação urbana de água em relação à  $Q_{95\%}$
3. Índice de captação industrial de água em relação à  $Q_{7,10}$
4. Índice de captação industrial de água em relação à  $Q_{95\%}$
5. Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à  $Q_{7,10}$
6. Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à  $Q_{95\%}$

Agregando-se os índices obtidos, obtiveram-se os seguintes índices globais:

1. Demanda total de água em relação a  $Q_{7,10}$
2. Demanda total de água em relação a  $Q_{95\%}$

a) *Índice de captação urbana de água em relação à  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$*

Os índices de captação urbana de água em relação às disponibilidades hídricas mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  indicam o quanto à demanda do setor contribui para o comprometimento dessas disponibilidades hídricas. Ou seja, permite avaliar o peso desse uso em relação aos demais na geração de conflitos em relação ao aproveitamento dos recursos hídricos. Os índices de captação urbana em relação às disponibilidades hídricas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  estão apresentados no Quadro 7.7. Ressalte-se que, nessa análise, não foi considerada as reversões de água para a Região Metropolitana de São Paulo, através do Sistema da Cantareira.

Quadro 7.7: Captação urbana ( $m^3/s$ ), disponibilidades hídricas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  ( $m^3/s$ ) e respectivos índices.

Sub-Bacia	Captação[a]	Vazão $Q_{7,10}$ [b]	Vazão $Q_{95\%}$ [c]	Índice[a/b]	Índice[a/c]
Rio Atibaia	3,05	9,18	12,87	0,33	0,24
Rio Camanducaia	0,18	3,75	5,59	0,05	0,03
Rio Jaguari	0,92	4,19	6,84	0,22	0,13
Rio Corumbataí	0,9	4,55	7,65	0,20	0,12
Rio Piracicaba	5,41	8,17	11,58	0,66	0,47
Rio Capivari	2,02	3,79	5,62	0,53	0,36
Rio Jundiá	2,94	3,3	4,96	0,89	0,59
Total	15,42	36,93	55,11	0,42	0,28

Nota: valores referentes ao ano 2000.

Esses índices indicam que, na sub-bacia do Rio Jundiá, a demanda hídrica do setor compromete cerca de 89% e 59% das disponibilidades hídricas mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ , respectivamente. Por outro lado, as contribuições desse setor na sub-bacia do Camanducaia são de apenas 5% e 3%, respectivamente. Nas sub-bacias dos rios Piracicaba e Capivari, verifica-se que a demanda hídrica do setor compromete, respectivamente, cerca de 66% e 53% de  $Q_{7,10}$  e 47% e 36% de  $Q_{95\%}$ . Essas informações apresentam-se ilustradas na Figura 7.6.

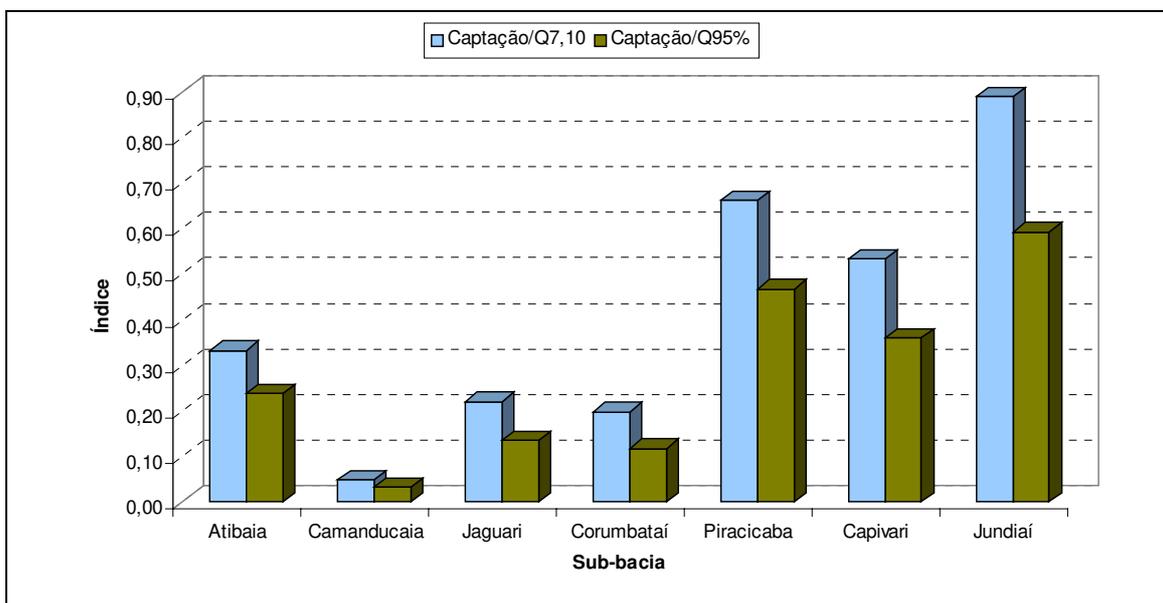


Figura 7.6: Índices de captação urbana em relação às disponibilidades hídricas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ .

**b) Índice de captação industrial de água em relação a  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$**

Os índices de captação industrial de água em relação às disponibilidades hídricas mínimas na forma de  $Q_{7,10}$  e de  $Q_{95\%}$  indicam a contribuição do setor industrial para o comprometimento da disponibilidade hídrica. Para as sete sub-bacias analisadas, esses índices estão apresentados no Quadro 7.8.

Quadro 7.8: Captação Industrial e disponibilidades hídricas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  em  $m^3/s$  e respectivos índices.

Bacia	Captção[a]	Vazão $Q_{7,10}$ [b]	Vazão $Q_{95\%}$ [c]	Índice[a/b]	Índice[a/c]
Rio Atibaia	6,54	9,18	12,87	0,71	0,51
Rio Camanducaia	0,07	3,75	5,59	0,02	0,01
Rio Jaguari	3,07	4,19	6,84	0,73	0,45
Rio Corumbataí	0,95	4,55	7,65	0,21	0,12
Rio Piracicaba	3,74	8,17	11,58	0,46	0,32
Rio Capivari	1,94	3,79	5,62	0,51	0,35
Rio Jundiá	1,55	3,3	4,96	0,47	0,31
Total	17,86	36,93	55,11	0,48	0,32

Os resultados indicam que as contribuições desse setor para comprometimento das disponibilidades hídricas na forma de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  são maiores nas sub-bacias dos rios Atibaia (71% e 51%, respectivamente) e Jaguari (73% e 45%, respectivamente). Em seguida,

em menores proporções, encontram-se as sub-bacias dos rios Capivari (51% e 35%, respectivamente), Piracicaba (46% e 32%, respectivamente) e Jundiá (47% e 31%, respectivamente). Para cada sub-bacia, os respectivos índices estão ilustrados na Figura 7.7.

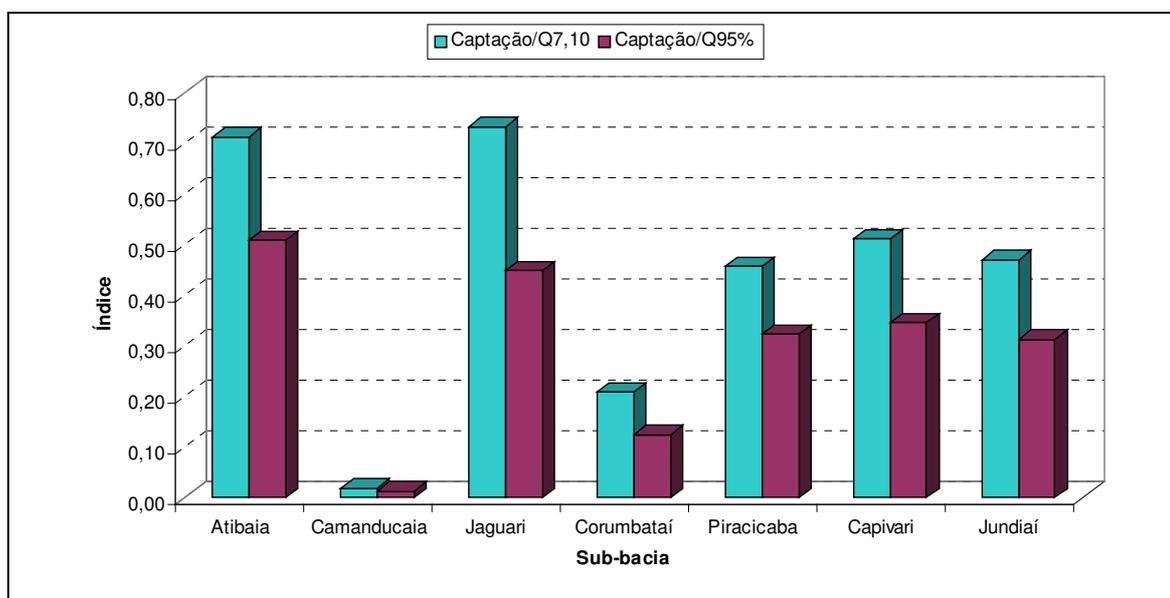


Figura 7.7: Índices captação industrial em relação às disponibilidades hídricas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ .

Nota: Índices determinados com base no ano de 2000.

### c) Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$

Para o setor agrícola, os índices de consumo de água para irrigação em relação às disponibilidades hídricas na forma de  $Q_{7,10}$  e de  $Q_{95\%}$  estão apresentados na Tabela 7.9.

Tabela 7.9: Consumo efetivo de água ( $m^3/s$ ) e disponibilidade hídrica  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95}$  ( $m^3/s$ ) e índices

Bacia	Consumo[a]	Vazão $Q_{7,10}$ [b]	Vazão $Q_{95\%}$ [c]	Índice[a/b]	Índice[a/c]
Rio Atibaia	9,18	12,87	11,01	0,17	0,12
Rio Camanducaia	3,75	5,59	5,59	0,14	0,10
Rio Jaguari	4,19	6,84	8,03	0,13	0,08
Rio Corumbataí	4,55	7,65	8,06	0,18	0,10
Rio Piracicaba	8,17	11,58	8,93	0,32	0,22
Rio Capivari	3,79	5,62	4,33	0,26	0,17
Rio Jundiá	3,30	4,96	3,92	0,15	0,10
Total	36,93	55,11	49,87	0,20	0,14

Nota: Índices determinados com base no ano de 2000.

Os resultados indicam que é na sub-bacia do Rio Piracicaba que ocorre um maior comprometimento das disponibilidades hídricas na forma de  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  (32% e 22%, respectivamente) pela atividade agrícola. Nas sub-bacias dos rios Capivari e Jundiáí, verifica-se que a demanda hídrica do setor compromete cerca de 26% de  $Q_{7,10}$  e 17% de  $Q_{95\%}$  e 15% de  $Q_{7,10}$  e 10% de  $Q_{95\%}$ , respectivamente. A relação entre a demanda hídrica do setor e as disponibilidades hídricas mínimas  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  para as sete sub-bacias analisadas está ilustrada na Figura 7.8.

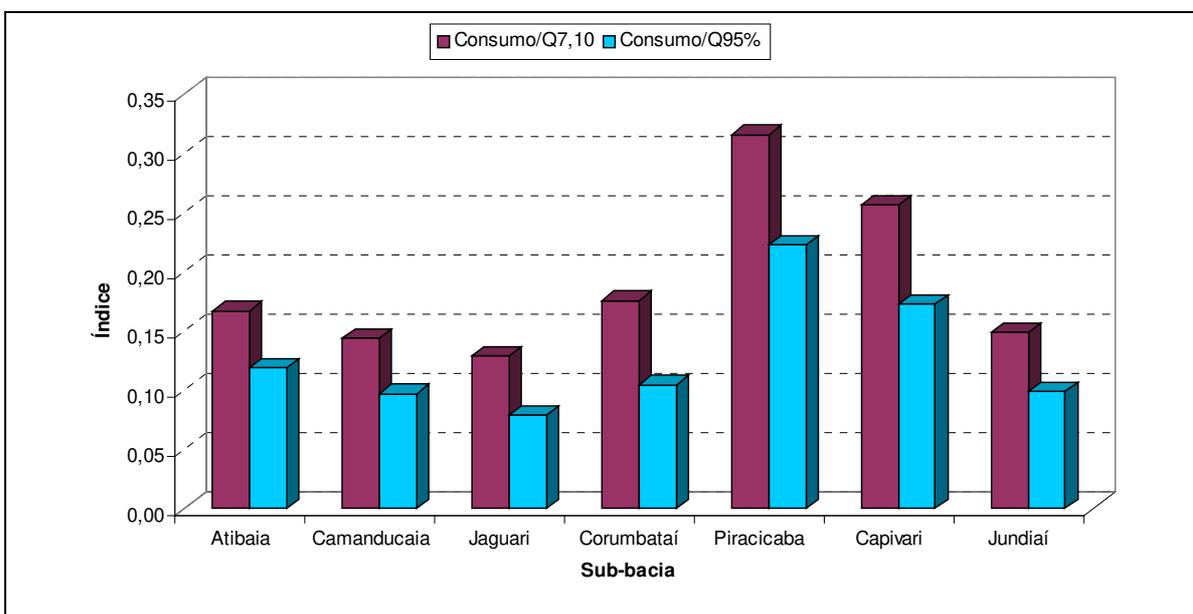


Figura 7.8: Índices de consumo efetivo de água na irrigação em relação à  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ .

#### d) Demanda total em relação a $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$

A relação entre a demanda total de água e a disponibilidade hídrica mínima é o indicador utilizado para avaliar a criticidade de uma bacia quanto à utilização dos recursos hídricos. Com base no critério sugerido pelo CORHI, avaliam-se os índices determinados nos Quadros 7.10 e 7.11, para classificar a situação das sub-bacias quanto à utilização dos recursos hídricos. No Quadro 7.10, estão apresentados os índices referentes à relação entre a demanda total e a disponibilidade hídrica  $Q_{7,10}$ .

Quadro 7.10: Demanda total em relação à disponibilidade hídrica  $Q_{7,10}$ .

Bacia	Urbana	Industrial	Agrícola	Total
Rio Atibaia	0,42	0,89	0,21	1,52
Rio Camanducaia	0,05	0,02	0,14	0,21
Rio Jaguari	0,17	0,57	0,10	0,84
Rio Corumbataí	0,18	0,19	0,16	0,53
Rio Piracicaba	0,98	0,68	0,47	2,13
Rio Capivari	0,81	0,78	0,39	1,97
Rio Jundiáí	1,30	0,69	0,22	2,20
Total	0,49	0,56	0,24	1,29

Ressalte-se que, nessa análise, não foi considerada a reversão de aproximadamente  $31 \text{ m}^3/\text{s}$  para o Sistema da Cantareira. Os resultados indicam que a sub-bacia do Rio Jundiáí apresenta uma situação bastante crítica, com índice de 151%, ou seja, demanda 51% superior à disponibilidade hídrica. Para as sub-bacias dos rios Atibaia e Capivari, os índices são da ordem de 120%, o que também classifica essas bacias como críticas. Para cada sub-bacia, o respectivo índice apresenta-se ilustrado na Figura 7.9.

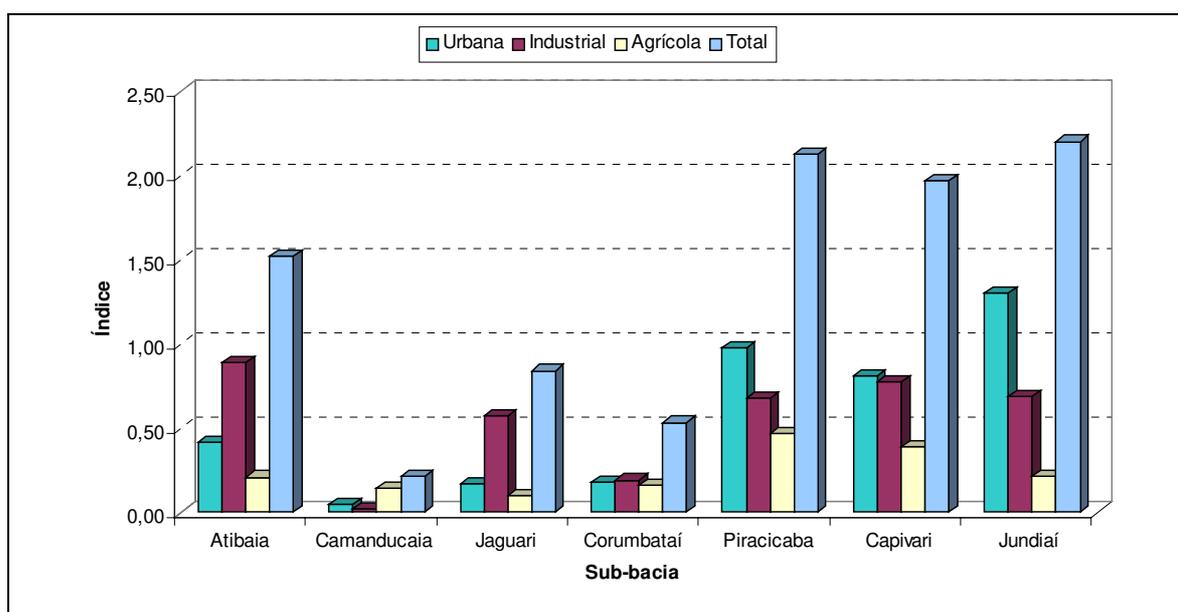


Figura 7.9: Índices de captação urbana e industrial de água, consumo de água na irrigação e demanda total em relação a  $Q_{7,10}$

No Quadro 7.11, estão apresentados os índices referentes à relação entre a demanda total e a disponibilidade hídrica  $Q_{95\%}$ .

Quadro 7.11: Demanda total em relação à disponibilidade hídrica  $Q_{95\%}$ .

Sub-bacia	Urbana	Industrial	Agrícola	Total
Rio Atibaia	0,28	0,59	0,14	1,01
Rio Camanducaia	0,03	0,01	0,10	0,14
Rio Jaguari	0,11	0,38	0,07	0,56
Rio Corumbataí	0,11	0,12	0,10	0,33
Rio Piracicaba	0,61	0,42	0,29	1,31
Rio Capivari	0,47	0,45	0,22	1,14
Rio Jundiáí	0,75	0,40	0,13	1,27
Total	0,31	0,36	0,15	0,82

Como se observa, na sub-bacia do Rio Jundiáí, a demanda compromete toda a disponibilidade hídrica mínima na forma de  $Q_{95\%}$ . Nas sub-bacias dos rios Atibaia e Capivari, observa-se um comprometimento de 87% e 88%, respectivamente. Já na sub-bacia dos rios Camanducaia e Piracicaba a relação demanda total e disponibilidade é de apenas 14% e 26%, respectivamente. Para cada sub-bacia, o respectivo índice apresenta-se ilustrado na Figura 7.10.

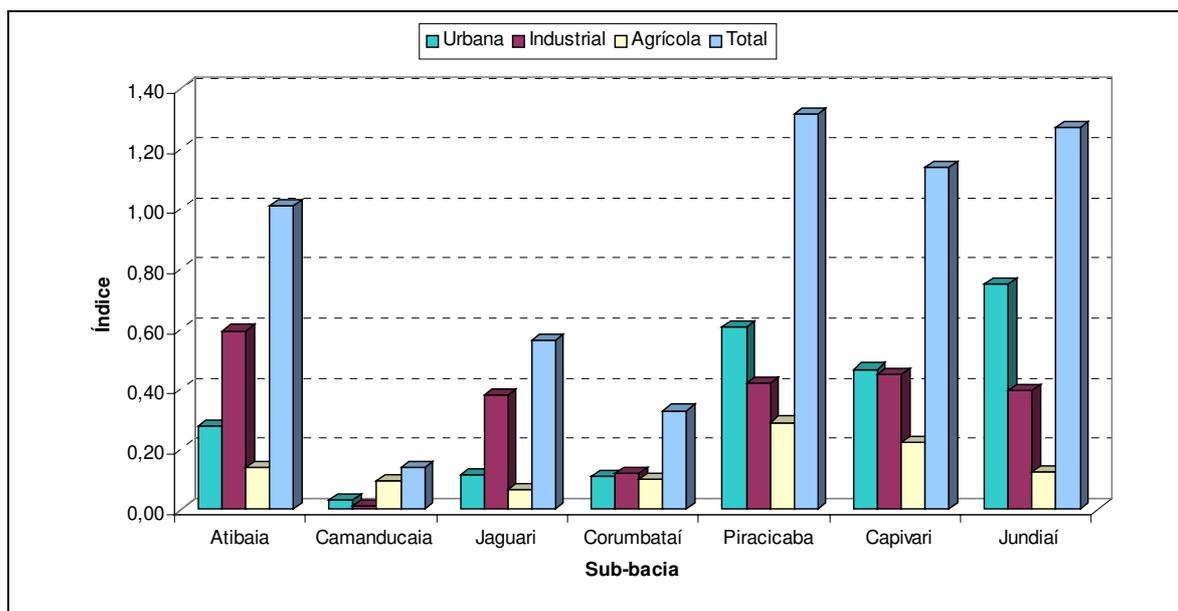


Figura 7.10: Índices de captação urbana e industrial de água, consumo de água na irrigação e demanda total em relação a  $Q_{95\%}$ .

## 7.2.8 Índice de Consumo Efetivo de Água *Per capita*

O índice de consumo efetivo *per capita* é o indicador do volume de água efetivamente consumido na bacia, independentemente de falhas no sistema de medição, ou seja, inclui as perdas comerciais e administrativas de água. Esse índice é obtido a partir da relação entre o consumo efetivo anual e a população atendida pelos sistemas públicos de abastecimento de água. O Quadro 7.12 apresenta o índice de consumo efetivo de água per capita para as sub-bacias avaliadas. Esse índice foi obtido a partir do consumo efetivo de água e da população atendida no ano de 2000 (estimativa).

Quadro 7.12: População, Consumo Efetivo de Água (m<sup>3</sup>/ano) e índice de consumo (m<sup>3</sup>/hab.ano).

Bacia	População Atendida	Consumo Efetivo	Consumo Per capita
Rio Atibaia	795.040	77.513.799	97
Rio Camanducaia	60.247	4.741.154	79
Rio Jaguari	259.916	23.392.644	90
Rio Corumbataí	217.590	22.812.991	105
Rio Piracicaba	1.468.529	138.146.954	94
Rio Capivari	498.456	51.209.202	103
Rio Jundiáí	697.802	75.088.509	108
Total	3.997.580	392.905.254	98

## 7.2.9 Índice de Atendimento por Coleta de Esgotos

Ao lado das pressões das demandas sobre os recursos hídricos, a qualidade degradada das águas é também fator responsável pela ocorrência de conflitos entre os diferentes usos de recursos hídricos. A degradação da qualidade hídrica decorre da falta de sistemas de coleta e afastamento dos esgotos e, principalmente, pela falta de tratamento antes de seu lançamento nos principais rios.

Na região de estudo, os índices de atendimento global por coleta de esgotos são considerados satisfatórios – cerca de 90% em 2000. No entanto, a meta deverá ser atingida em 2010, quando todas as sub-bacias deverão atingir índices iguais ou superiores a 90%. Dessa forma, o índice de atendimento foi o indicador utilizado para avaliar a preferência ou necessidade das bacias estudadas por ações, voltadas ao alcance da meta estabelecida. No Quadro 7.13, estão apresentados os índices de coleta de esgotos domésticos para as sete sub-bacias da UGRHI 5.

Quadro 7.13: População urbana e atendida e respectivo índice.

Sub-bacia	Atendida[a]	Urbana[b]	Índice [a/b]
Rio Atibaia	740.265,00	838.362,00	0,88
Rio Camanducaia	52.348,00	62.076,00	0,84
Rio Jaguari	449.529,00	510.767,00	0,88
Rio Corumbataí	213.037,00	218.975,00	0,97
Rio Piracicaba	239.851,00	277.293,00	0,86
Rio Capivari	670.090,00	749.816,00	0,89
Rio Jundiá	1.383.147,00	1.496.007,00	0,92
Total	3.748.267,00	4.153.296,00	0,90

Nota: índices determinados com base em valores estimados para o ano de 2000.

### 7.2.10 Índice de Atendimento por Tratamento de Esgotos

Na UGRHI 5, a degradação da qualidade das águas dos mananciais superficiais se deve principalmente a quase absoluta falta de tratamento de esgotos. A maioria das cidades não conta com sistemas de tratamento, que, quando existentes, atendem apenas parcialmente. Com base nessa situação, utilizou-se o índice de tratamento de esgotos como um indicador dos esforços realizados na bacia para promover a melhoria das condições sanitárias dos rios e, conseqüentemente, das condições ambientais e da qualidade de vida da população.

No ano de 2000, o índice de tratamento de esgotos global alcançado foi da ordem de apenas 17%, tendo-se em vista que a meta prevista até ano de 2005 é de 89% da população atendida. Em médio prazo, isto é, até o ano de 2010 a meta a ser alcançada deverá ser de 92% da população atendida. Dessa forma, esse índice foi utilizado para avaliar as necessidades das sub-bacias consideradas em relação a intervenções voltadas para se alcançar as metas definidas. Na Quadro 7.14 estão indicados os índices de tratamento de esgotos, referentes ao ano de 2000, para as sete sub-bacias analisadas

Quadro 7.14: População e Índice de Atendimento por tratamento de esgotos.

Sub-bacia	Atendida[a]	Urbana[b]	Índice [a/b]
Rio Atibaia	106.416	838.362	0,13
Rio Camanducaia	3.669	62.076	0,06
Rio Jaguari	10.417	510.767	0,02
Rio Corumbataí	23.706	218.975	0,11
Rio Piracicaba	34.983	277.293	0,13
Rio Capivari	14.861	749.816	0,02
Rio Jundiá	510.939	1.496.007	0,34
Total	704.991	4.153.296	0,17

### 7.2.11 Cargas Orgânicas Remanescentes Urbana e Industrial

A carência quase absoluta de tratamento dos esgotos domésticos é considerada a maior deficiência do saneamento básico na UGRHI 5. Essa situação é a grande responsável pela degradação da qualidade das águas superficiais, em decorrência dos lançamentos de esgotos domésticos portadores de carga poluidora remanescente de uma carga total gerada.

Quanto aos efluentes industriais, estes contribuem em menor proporção no lançamento total de cargas poluidoras remanescentes, embora esse setor seja o responsável pela maior parcela da carga total gerada. Isso se deve ao elevado índice de remoção da carga poluidora que ocorre nas indústrias sucro-alcooleiras (sem lançamento).

Assim, as cargas poluidoras remanescentes urbana e industrial, cujo valor é expresso em toneladas de DBO<sub>5</sub> por ano, são os dois indicadores utilizados para avaliar a contribuição das sete sub-bacias analisadas na degradação da qualidade dos principais rios. Essa avaliação permite classificar as respectivas sub-bacias prioritárias com relação a intervenções de tratamento de esgotos domésticos e de efluentes industriais. No Quadro 7.15 estão indicados os valores das cargas orgânicas remanescentes industrial e doméstica correspondentes aos valores estimados para o ano de 2000.

Quadro 7.15: Carga orgânica remanescente (tDBO/ano).

Sub-bacia	Urbana	Industrial
Rio Atibaia	13.187,5	2.182,7
Rio Camanducaia	1.025,7	653,4
Rio Jaguari	6.376,6	1.711,9
Rio Corumbataí	3.814,3	368,7
Rio Piracicaba	18.943,5	12.450,2
Rio Capivari	9.077,6	233,6
Rio Jundiáí	65.838,7	3.248,5
Total	118.263,90	20.849,00

Os valores de cargas orgânicas remanescentes industrial e doméstica, estimados para o ano 2000, podem ser visualizados na Figura 7.11.

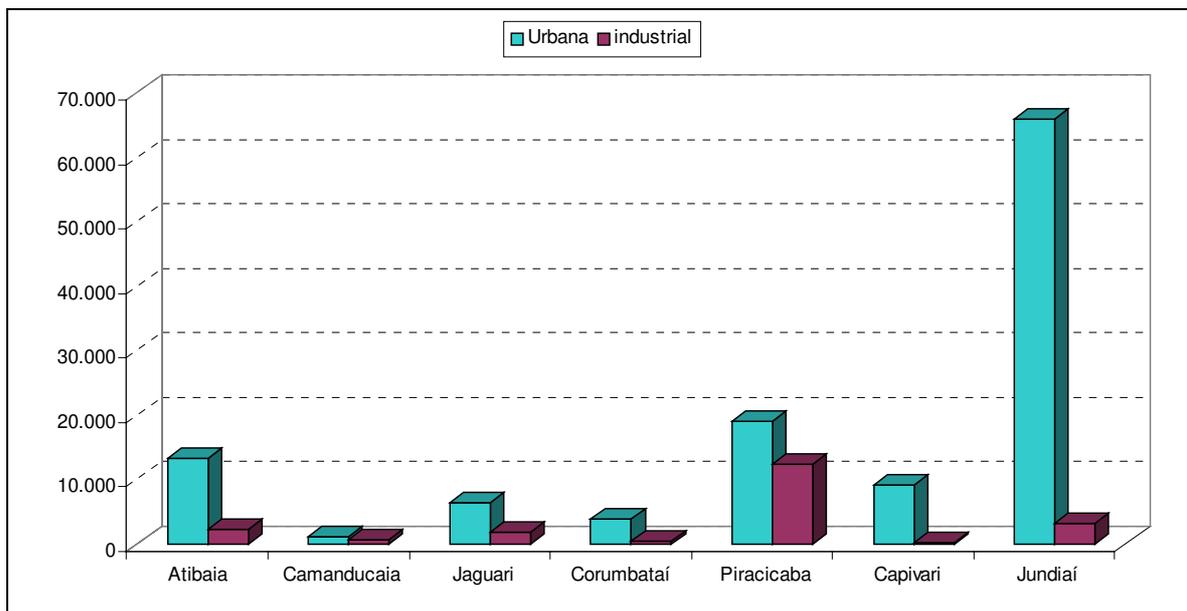


Figura 7.11: Cargas poluidoras remanescentes industrial e doméstica (ton.DBO/ano).

### 7.2.12 Índice de Qualidade das Águas Superficiais

O índice de qualidade de águas – IQA foi o indicador utilizado para avaliar o estado da qualidade das águas superficiais para abastecimento público. Assim, o índice determinado é utilizado para classificar a qualidade da água para abastecimento público, em uma escala de 0 a 100, nas seguintes categorias:

- Qualidade Ótima  $79 < IQA \leq 100$
- Qualidade Boa  $51 < IQA \leq 79$
- Qualidade Aceitável  $36 < IQA \leq 51$
- Imprópria para tratamentos convencionais  $19 < IQA \leq 36$
- Imprópria  $IQA < 19$

Para algumas sub-bacias, os valores do IQA foram determinados em vários pontos ao longo do trecho do rio principal. Este é o caso das sub-bacias dos rios Atibaia Piracicaba, Capivari e Jundiá. Para essas sub-bacias, utilizou-se o valor do IQA de um único ponto, que foi escolhido com base nos seguintes critérios:

- Sub-bacia do Rio Atibaia;

- ATIB02065 – localização de captação importante para abastecimento urbano - (captação da cidade de Campinas).

- Sub-bacia do Piracicaba;

- PCAB02220 – localização de captação importante para abastecimento urbano – (captação da cidade de Piracicaba).

- Sub-bacia do rio Capivari;

- CPIV02900 – localização próxima à foz do Rio Capivari no Rio Tietê.

- Sub-bacia do rio Jundiá;

JUNA04900 – localização próxima à foz do rio Jundiá no Rio Tietê.

Para as sub-bacias dos rios Camanducaia, Corumbataí e Jaguari, o indicador utilizado foi o valor do IQA referente a um único ponto dessas sub-bacias. O índice de qualidade das águas para as sete sub-bacias avaliadas estão apresentados no Quadro 7.16.

Quadro 7.16: Índice de Qualidade das Águas Superficiais.

Sub-bacia	IQA médio	Qualidade
Rio Atibaia	50	Aceitável
Rio Camanducaia	59	Boa
Rio Jaguari	68	Boa
Rio Corumbataí	45	Aceitável
Rio Piracicaba	37	Aceitável
Rio Capivari	43	Aceitável
Rio Jundiá	22	Imprópria para tratamento convencional

Nota: Valores referentes ao ano de 2000.

Conforme se observa, nas sub-bacia dos rios Atibaia, Corumbataí, Piracicaba e Capivari, a qualidade da águas para abastecimento público pode ser classificada como regular. Já nas sub-bacia dos rios Camanducaia e Jaguari a qualidade das águas pode ser classificada como boa. No entanto a situação é crítica na sub-bacia do Jundiá, onde a qualidade das águas foi classificada como ruim.

### 7.2.13 Extensão de Cursos de Água em Desacordo com o Enquadramento

O percentual da extensão do curso de água em desacordo com o enquadramento vigente foi o indicador utilizado para avaliar as necessidades de cada sub-bacia de ações que promovam a recuperação da qualidade das águas.

Esse indicador está determinado no Quadro 7.17, considerando-se os percentuais das extensões dos rios e suas correspondentes classes de usos, referentes ao enquadramento e a situação atual.

Quadro 7.17: Extensão (%) e a classe de uso e o percentual da extensão do rio em desacordo.

Principal Rio	Enquadramento		Situação Atual		% da Extensão do Rio em Desacordo com o Enquadramento
	Extensão (%)	Classe de uso	Extensão (%)	classe	
Sub-bacia do Rio Atibaia					
Atibaia	100	2	65 20 15	2 3 4	35
Sub-bacia do Rio Camanducaia					
Camanducaia	100	2	70 30	2 3	30
Sub-bacia do Rio Jaguari					
Jaguari	100	2	75 20 5	2 3 4	25
Sub-bacia do Rio Corumbataí					
Corumbataí	100	2	70 10 20	2 3 4	30
Sub-bacia do Rio Piracicaba					
Piracicaba	100	2	10 30 60	2 4 Pior que 4	90
Sub-bacia do Rio Capivari					
Capivari	100	2	15 15 25 35	2 3 4 Pior que 4	85
Sub-bacia do Rio Jundiá					
Jundiá	25 75	2 4	25 40 35	2 4 Pior que 4	35

Comparando-se a situação atual com o enquadramento estabelecido por lei, verifica-se que, nas sub-bacias dos rios Atibaia, Camanducaia e Jaguari, 35%, 30% e 25%, respectivamente, da extensão total de seus principais rios estão em desacordo com o enquadramento vigente. Nas

sub-bacias dos rios Piracicaba e Capivari, a situação é mais crítica – 90% e 85% da extensão total dos principais rios estão em desacordo com o enquadramento, respectivamente.

De modo geral, a proposta de indicadores selecionada a partir da estrutura conceitual de indicadores denominada *pressão-estado-resposta* foi compatível com os dados e informações disponíveis, possibilitando um diagnóstico representativo da realidade de cada sub-bacia hidrográfica avaliada.

### **7.3 Identificação das Categorias de Ações**

Como descrito no Capítulo 5 (item 5.6), existe um programa de investimentos para proteção e aproveitamento racional dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas em estudo, no âmbito do qual o Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição (PQA), que define várias ações de intervenção.

No Quadro 7.18 apresentam-se as ações que constituem as categorias de intervenção definidas, nas quais as sub-bacias serão classificadas em ordem de preferência. Apresenta-se também uma breve descrição de seus objetivos e metas.

Quadro 7.18: Categorias de intervenção pré-estabelecidas.

Categoria	Ação de Intervenção	Objetivos e/ou metas
I	Coleta, transporte e tratamento de esgotos	Melhorias nas condições sanitárias e na qualidade dos cursos d'água.
II	Racionalização do uso da água	<p>a) Reduzir as pressões das demandas de recursos hídricos mediante racionalização de seu uso e valorização da água como bem econômico</p> <p>b) Contenção de desperdícios e ao aumento da eficiência nos sistemas de abastecimento urbano, industrial e na irrigação.</p>
III	Controle de fontes poluidoras e tratamento de efluentes industriais	<p>a) Contribuir para a recuperação da qualidade das águas das bacias, promovendo uma maior remoção das cargas industriais na fonte.</p> <p>b) Garantir a melhoria da qualidade dos cursos d'água e das condições ambientais, elevando os índices de remoção de cargas poluidoras de esgotos industriais.</p>
IV	Reflorestamento e reconstituição da vegetação ciliar e de áreas degradadas	<p>a) Contribuir para melhoria da qualidade das águas das bacias</p> <p>b) Proporcionar o fornecimento de abrigo e alimento para as faunas terrestres e aquáticas e áreas de lazer e recreação à população</p> <p>c) Promover diminuição de assoreamentos dos cursos d'água e prevenir sua contaminação por atividades agrícolas</p>
V	Produção e distribuição de água potável para abastecimento urbano	<p>a) Ampliar a oferta de água potável às populações urbanas a partir da ampliação dos sistemas de produção e distribuição de água</p> <p>b) Atingir a meta de atendimento de 98% da população urbana da UGRHI 5 até o ano 2005</p>
VI	Educação Ambiental em relação ao uso de recursos hídricos	<p>a) Promover campanhas de divulgação pública, orientada para políticos, dirigentes do setor público, empresários e usuários de recursos hídricos, sobre a importância de conservação, proteção, utilização racional dos recursos hídricos e ambientais;</p> <p>b) Desenvolver a capacitação dos professores do ensino básico para inserir no currículo escolar o tema de educação ambiental, com ênfase para os recursos hídricos;</p> <p>c) Desenvolver projetos de educação ambiental com o apoio de organizações não governamentais especializadas em defesa do meio ambiente e de direitos difusos.</p>

#### 7.4 Aplicação do Método Electre III

A hierarquização de bacias hidrográficas, segundo suas preferências por determinada ação pode ser um instrumento útil na gestão de recursos hídricos, particularmente em problemas de tomada de decisão. Destaque-se o caso de decisões envolvendo a aplicação de programas de investimentos para a conservação, proteção e a recuperação da qualidade desses recursos, que embora seja uma tarefa relativamente comum, ainda é bastante complexa. Isso porque os impactos da implementação de programas de investimentos são mensurados em dimensões distintas (benefícios e possíveis inconvenientes), além de envolver diferentes interesses.

Considerou-se, assim, uma metodologia capaz de posicionar as sub-bacias avaliadas, umas em relação às outras, ou seja, estabelecer uma classificação. O método utilizado para isso foi o ELECTRE III, que apresenta características particulares não encontradas em nenhum outro método multicritério. Tais características influenciaram na escolha do referido método, como as citadas em BUCHANAN et al. (2002). Uma delas é a sua capacidade de incorporar as imprecisões e incertezas do processo decisório, fixando limiares de indiferença e preferência. Uma outra característica desse método em relação aos demais é a sua natureza *não-compensatória*, o que significa que uma má pontuação sobre um critério não pode ser compensada por uma boa pontuação sobre outro critério. Outro aspecto relevante é que ele permite a incomparabilidade entre ações quando não há uma clara preferência de uma em relação à outra.

O método ELECTRE III é utilizado quando é possível e desejável quantificar a importância relativa de critérios (neste caso, indicadores). Esse método foi utilizado a partir de uma matriz denominada **matriz de performances**, que, nesse caso, é constituída por um conjunto de indicadores determinados (dispostos em linhas) para cada uma das sub-bacias avaliadas (em colunas). A partir dessa matriz, elaborou-se um procedimento de agregação multicritério utilizando-se modelo ELECTRE III, para avaliar as necessidades das sub-bacias em relação a ações previamente estabelecidas.

#### 7.4.1 Construção da matriz de *performances*

Toda ação **a** é representada por seus desempenhos sobre os critérios ( $g_1(a)$ ,  $g_2(a)$ , ...,  $g_n(a)$ ). Esses dados e informações relativas a um grupo de ações podem ser resumidas, em uma matriz denominada **matriz de performances**. Essa matriz pode compor um quadro que contenha eventualmente outras informações, como os pesos dos critérios, os limiares **p**, **q** e **v** e o sentido de preferência. É precisamente sobre essa matriz, com todas essas informações, que deve ser realizado um procedimento de agregação multicritério, com a finalidade de se compararem às ações globalmente.

Nessa análise, a referida matriz traz uma avaliação do desempenho das sete sub-bacias a partir dos vinte indicadores adotados. Nela estão contidas os valores resultantes da avaliação de cada sub-bacia em relação a cada indicador. Ressalte-se que essa matriz é uma importante ferramenta de suporte ao decisor nesse tipo de avaliação, porém deve ser utilizada com cautela. Isso porque os diferentes critérios (nesse caso indicadores) possuem unidades e escalas heterogêneas, o que pode dificultar as comparações entre ações (nesse caso sub-bacias). Entretanto, o problema é contornado quando sobre essa matriz se elabora um procedimento de agregação multicritério com uma aproximação operacional. No caso estudado, utilizou-se a aproximação de desclassificação a partir do modelo ELECTRE III.

No Quadro 7.19, está apresentada a **matriz de performances** com os valores da avaliação do desempenho da sub-bacia em relação aos indicadores. Apresenta-se, também, uma avaliação em nível global (UGRHI 5) para fins comparativos. As sub-bacias estão denotadas da seguinte maneira: ATI (Atibaia), CAM (Camanducaia), JAG (Jaguari), COR (Corumbataí), PIR (Piracicaba), CAP (Capivari) e JUN (Jundiaí).

Quadro 7.19: Matriz dos valores da avaliação do desempenho das sub-bacias em relação ao indicadores.

INDICADOR	UNIDADE	SUB-BACIAS							UGRHI 5
		ATI	CAM	JAG	COR	PIR	CAP	JUN	
Índice de cobertura vegetal natural		0,12	0,04	0,03	0,07	0,04	0,02	0,13	0,07
Índice de reflorestamento		0,36	1,13	0,85	0,69	0,22	1,01	0,44	0,49
Vazão mínima específica $Q_{7,10}$	l/s.km <sup>2</sup>	2,60	4,36	2,47	2,93	1,46	1,59	1,97	2,26
Vazão mínima específica $Q_{95\%}$	l/s.km <sup>2</sup>	3,90	6,50	3,68	4,77	2,37	2,76	3,41	3,55
Índice de irrigação		0,57	0,48	0,21	0,11	0,19	0,64	0,46	0,30
Densidade demográfica	hab./km <sup>2</sup>	310	95	143	140	384	339	636	300
Índice de urbanização		0,94	0,75	0,88	0,96	0,95	0,95	0,96	0,94
Índice de consumo efetivo de água per capita		97	79	90	105	94	103	108	98
Índice de captação urbana de água em relação à $Q_{7,10}$		0,33	0,05	0,22	0,20	0,66	0,53	0,89	0,42
Índice de captação urbana de água em relação à $Q_{95\%}$		0,24	0,03	0,13	0,12	0,47	0,36	0,59	0,28
Índice de captação industrial de água em relação à $Q_{7,10}$		0,71	0,02	0,73	0,21	0,46	0,51	0,47	0,48
Índice de captação industrial de água em relação à $Q_{95\%}$		0,51	0,01	0,45	0,12	0,32	0,35	0,31	0,32
Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à $Q_{7,10}$		0,17	0,14	0,13	0,18	0,32	0,26	0,15	0,20
Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à $Q_{95\%}$		0,12	0,10	0,08	0,10	0,22	0,17	0,10	0,14
Índice de atendimento urbano por coleta de esgotos		0,88	0,84	0,88	0,97	0,86	0,89	0,92	0,90
Índice de atendimento urbano por tratamento de esgotos		0,13	0,06	0,02	0,11	0,13	0,02	0,34	0,17
Índice de qualidade das águas superficiais		50	59	68	45	37	43	22	48
Carga orgânica remanescente urbana	ton.DBO <sub>5</sub> /ano	13.187	1.026	6.377	3.814	18.943,5	9.078	65.839	118.264
Carga orgânica remanescente industrial	ton.DBO <sub>5</sub> /ano	2.183	653	1.712	369	12.450	234	3.248	20.849
Percentual da extensão do rio em desacordo com o enquadramento	%	35	30	25	30	90	85	35	47

### 7.4.2 Definição dos parâmetros do ELECTRE III

A definição dos limiares de preferência ( $p$ ), indiferença( $q$ ) e veto ( $v$ ) são requisitos para a aplicação do modelo ELECTRE III, uma vez que essas funções expressam as imprecisões e incertezas associadas aos dados e informações, sobre os quais se fundamenta o processo de avaliação. Eles permitem, assim, integrar dados e informações pouco confiáveis e/ou precisos.

A atribuição de valores reais aos parâmetros  $p$ ,  $q$  e  $v$  é uma questão delicada, em virtude do elevado grau subjetividade inerente. Desse modo, a atribuição de valores para esses limiares deve ser realizada pelo decisor, devendo estar mais apoiada sobre considerações de bom senso do que na busca de um valor “exato” e/ou aproximado [ROY (1992) apud YU (1992)].

Não é razoável assumir que o decisor seja capaz de expressar valores explícitos aos parâmetros  $p$ ,  $q$ ,  $v$  e para o peso, uma vez que esses diferem dos termos reais em que o decisor normalmente expressa suas preferências e conhecimentos. Por outro lado, um conjunto dos respectivos parâmetros é utilizado para construir um modelo de preferência que seja reconhecido pelo decisor como um trabalho hipotético de auxílio á decisão. A partir desse modelo, é possível obter uma aproximação realista, inferindo parâmetros a partir de atribuições dadas pelo decisor [MOUSSEAU et al., 1998].

Neste estudo, os limiares de preferência, indiferença e veto foram previamente definidos com base em recomendações. É importante ressaltar que a opinião de atores envolvidos no processo decisório deveriam ser consideradas na definição desses parâmetros, assim como na atribuição de importância relativa aos indicadores (pesos). A princípio, optou-se por atribuir arbitrariamente valores a esses parâmetros, os quais deverão ser submetidos posteriormente aos julgamentos dos atores envolvidos no processo decisório, para a determinação de valores que se ajustem melhor às suas preferências.

No Quadro 7.20, estão resumidos os valores de atribuídos a esses limiares, assim como os pesos relativos dos indicadores em cada categoria de intervenção proposta.

Quadro 7.20: Valores de referência para os limiares de preferência (p), indiferença (q) e veto (v) e pesos relativos dos indicadores.

INDICADOR	UNIDADE	p	q	v	PESOS ATRIBUÍDOS					
					I	II	III	IV	V	VI
Índice de cobertura vegetal natural		0,04	0,02	0,13	0	0	0	0,22	0	0,15
Índice de reflorestamento		0,36	0,18	1,09	0	0	0	0,10	0	0,10
Vazão mínima específica Q 7,10	l/s.km2	1,16	0,58	3,48	0	0	0,06	0,06	0	0,08
Vazão mínima específica Q 95%	l/s.km2	1,65	0,83	4,96	0	0	0,06	0,06	0	0,05
Índice de irrigação		0,21	0,11	0,64	0	0,10	0	0	0	0,05
Densidade demográfica	hab./km2	216	108	649	0,10	0,10	0,08	0,07	0,09	0,09
Índice de urbanização		0,08	0,04	0,25	0,12	0,10	0,08	0,08	0,15	0,10
Índice de consumo efetivo de água per capita		11,60	5,80	34,80	0,07	0,15	0	0	0,10	0,07
Índice de captação urbana de água em relação à Q7,10		0,34	0,17	1,01	0,09	0,15	0,10	0,15	0,10	0,08
Índice de captação urbana de água em relação à Q95%		0,22	0,11	0,67	0,08	0,08	0	0,06	0,05	0,04
Índice de captação industrial de água em relação à Q7,10		0,29	0,14	0,86	0	0,15	0,10	0,10	0	0,09
Índice de captação industrial de água em relação à Q95%		0,20	0,10	0,59	0	0,08	0	0,06	0	0,02
Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à Q7,10		0,07	0,04	0,22	0	0,06	0	0,02	0	0,06
Índice de consumo efetivo de água na irrigação em relação à Q95%		0,06	0,03	0,17	0	0,03	0	0,02	0	0,02
Índice de atendimento urbano por coleta de esgotos		0,05	0,03	0,16	0,09	0	0	0	0	0
Índice de atendimento urbano por tratamento de esgotos		0,13	0,06	0,38	0,15	0	0	0	0	0
Índice de qualidade das águas superficiais		18,40	9,20	55,20	0,10	0	0,10	0	0,12	0
Carga orgânica remanescente urbana	ton.DBO5/ano	25.925	12.963	77.776	0,10	0	0	0	0,15	0
Carga orgânica remanescente industrial	ton.DBO5/ano	4.887	2.443	14.660	0	0	0,22	0	0,09	0
Percentual da extensão do curso de água em desacordo com o enquadramento	%	26	13	78	0,10	0	0,20	0	0,15	0

## 7.5 Resultados da Simulação

Realizou-se uma simulação com o método ELECTRE III, considerando-se os pesos atribuídos arbitrariamente aos indicadores, para cada categoria de ação proposta (Quadro 7.20), totalizando, assim, seis simulações. Assim, para cada categoria de intervenção, as sub-bacias foram avaliadas em relação aos indicadores, que foram ponderados de acordo com sua importância na respectiva categoria.

O método utilizado gerou uma “classificação final”, indicando a posição das sub-bacias de acordo com sua preferência por determinada ação. As posições das sete sub-bacias para as seis intervenções propostas estão indicadas no Quadro 7.21. Os resultados fornecidos pelo programa para as seis categorias avaliadas estão listados em anexo.

Quadro 7.21: Classificação final das sub-bacias por categorias de intervenção.

Categoria de Intervenção	CLASSIFICAÇÃO FINAL						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
I	PIR	CAP;JUN	ATI	COR; JAG	CAM		
II	JUN	CAP	ATI	PIR	JAG	COR	CAM
III	PIR	JUN	CAP	ATI	COR; JAG	CAM	
IV	PIR	CAP	JAG; JUN	ATI	COR	CAM	
V	JUN	PIR; CAP	COR; ATI	JAG	CAM		
VI	PIR; CAP	JUN	JAG	ATI; COR	CAM		

Segundo os resultados fornecidos pelo Electre III para a Categoria I - “coleta, transporte e tratamento de esgotos urbanos”, a sub-bacia do Rio Piracicaba revelou-se como a de maior necessidade por tal intervenção. Essa sub-bacia encontra-se em situação privilegiada quanto ao tratamento de seus esgotos urbanos (cerca de 13%, em 2000) comparada com as dos rios Capivari (2%), Corumbataí (11%), Jaguari (2%) e Camanducaia (6%). Nessa sub-bacia a remoção de carga poluidora doméstica (cerca de 36%, em 2000) é superior ao índice médio da UGRHI 5 (22%, em 2000). No entanto, os elevados níveis de cargas poluidoras remanescentes domésticas (18.944 ton.DBO/ano), comparados com os das demais sub-bacias, comprometem substancialmente a qualidade de suas águas. Ressalte-se, ainda, que a elevada demanda urbana

por água (66% de  $Q_{7,10}$  e 47% de  $Q_{95\%}$ ) é também um fator agravante da qualidade hídrica nessa sub-bacia.

A sub-bacia do Jundiáí, embora apresente índice de tratamento de esgotos domésticos superior aos das demais (34%), teve sua classificação determinada pelos seguintes fatores: elevada carga orgânica remanescente (65.839 ton.DBO/ano); baixo índice de qualidade das águas (qualidade imprópria - 22); elevadas pressões das demandas (89% da disponibilidade hídrica  $Q_{7,10}$ ) para abastecimento público; elevada densidade demográfica e urbanização (636 hab./km<sup>2</sup> e 96%, respectivamente).

Quanto à intervenção “racionalização do uso da água” – Categoria II, a sub-bacia dos rios Jundiáí, Capivari e Atibaia, estão classificadas na primeira, segunda e terceira posição respectivamente. Nessas sub-bacias, estão as maiores pressões das demandas urbana (89%, 53% e 33% de  $Q_{7,10}$  e 59%, 36% e 24% de  $Q_{95\%}$ , respectivamente), industrial (47%, 51% e 71% da  $Q_{7,10}$ , e 32%, 31% e 51% da  $Q_{95\%}$ , respectivamente) e irrigação (15%, 26% e 17% da  $Q_{7,10}$ , e 10%, 17% e 12% da  $Q_{95\%}$ , respectivamente).

Essa classificação é resultado também da contribuição dos seguintes indicadores: “índice de consumo efetivo de água per capita” (108, 103 e 97 m<sup>3</sup>/hab.ano, respectivamente), índice de irrigação (46%, 64% e 57%, respectivamente), “índice de urbanização” (96%, 95% e 94%, respectivamente) e “densidade demográfica” (636 339 e 310 hab. /km<sup>2</sup>, respectivamente). Na quarta e quinta posições encontram-se as sub-bacias dos rios Piracicaba e Jaguar, respectivamente. As sub-bacias dos rios Corumbataí e Camanducaia foram classificadas na sexta e sétima posição, respectivamente.

Na categoria III, que corresponde à intervenção “controle de fontes poluidoras e tratamento de efluentes industriais”, destaca-se a sub-bacia do Rio Piracicaba como a de maior prioridade (primeira posição). Esta classificação pode ser considerada satisfatória uma vez que a mesma apresenta elevados níveis de carga orgânica remanescente industrial (12.450 ton. DBO/ ano) em relação às demais, particularmente as dos rios Jundiáí (3.248,5 ton.DBO/ano ) e Capivari (234 ton.DBO/ano), que estão classificadas na segunda e terceira posição, respectivamente.

Destaque-se que o elevado nível carga poluidora na sub-bacia do Piracicaba ocorre em virtude da baixa taxa de remoção de DQO (cerca de 69,5%), que é bastante inferior à média da UGRHI 5 (91%).

Para a Categoria IV - “reflorestamento e reposição da vegetação ciliar e de áreas degradadas”, a sub-bacia do Rio Piracicaba destaca-se na primeira posição, o que é coerente com suas características (por exemplo, índice de reflorestamento – 22%, índice de cobertura vegetal natural – 4% e vazões mínimas Q7,10 e Q95% - 1,46 e 2,37 l/s.km<sup>2</sup>, respectivamente). A sub-bacia do Rio Capivari apresenta-se classificada na segunda posição, enquanto as dos rios Jaguari e Jundiá encontram-se empatadas na terceira posição, o que é coerente também com características específicas dessas sub-bacias. As sub-bacias dos rios Atibaia, Corumbataí e Camanducaia situam-se na quarta, quinta e sexta posição revelando-se como as de menor necessidade por tal intervenção.

Com relação à intervenção “produção e distribuição de água potável” – Categoria V, os resultados indicam a sub-bacia do Jundiá como a de prioridade máxima nessa categoria. Segundo a classificação pelo Electre III, as sub-bacias dos rios Piracicaba e Capivari, encontram-se empatadas na segunda posição, enquanto as dos rios Corumbataí e Atibaia estão empatadas na terceira posição. As sub-bacias dos rios Jaguari e Camanducaia posicionam-se na quarta e quinta posição, respectivamente.

Verifica-se, assim, que essa classificação pode ser julgada satisfatória, uma vez que ela foi feita considerando-se vários aspectos simultaneamente. Entre eles estão os altos índices de urbanização (Corumbataí, Jundiá, Capivari e Piracicaba) os baixos índices de qualidade das águas (Piracicaba, Capivari e Jundiá), as elevadas cargas poluidoras remanescentes urbanas (Jundiá, Piracicaba e Atibaia) e o elevado percentual de extensões de rios em desacordo com o enquadramento, além da elevadas pressões das demandas (Piracicaba, Capivari e Jundiá).

Finalmente, para a intervenção “educação ambiental em relação ao uso de recursos hídricos” – Categoria VI, os resultados indicam que as sub-bacias dos rios Piracicaba e Capivari encontram empatadas na primeira posição, revelando-se como as de prioridade máxima por tal

intervenção. As sub-bacias dos rios Jundiá e Jaguari foram classificadas nas segunda, terceira posição, respectivamente. Na quarta posição encontram-se empatadas as sub-bacias dos rios Atibaia e Corumbataí, enquanto a sub-bacia do Camanducaia ocupa a quinta posição, indicando menor prioridade por tal intervenção.

De maneira geral, a avaliação das sete sub-bacias a partir dos vinte indicadores, por meio do modelo de agregação multicritério Electre III, forneceu resultados coerentes. Para todas as categorias de ações propostas, as sub-bacias de maior criticidade com relação à utilização dos recursos hídricos ocuparam posições que indicam suas maiores ou menores necessidades em relação a determinados tipos de intervenções.

## 8. Conclusões e Recomendações

A criticidade das bacias hidrográficas que integram a área de estudo em relação à utilização de recursos hídricos levou os órgãos gestores regionais ao estabelecimento de programas de investimentos voltados para a proteção e o uso racional desses recursos. Conforme mencionado no primeiro capítulo, a implantação desses programas esbarra em diversos entraves de ordem socioeconômica e político-institucional, entre os quais, dificuldades na captação de recursos financeiros e formação de recursos humanos.

As reflexões acerca dessa situação levaram à busca e à avaliação de instrumentos de auxílio ao processo decisório na execução de planos de investimentos em bacias hidrográficas. Para tanto, partiu-se da premissa que uma proposta de indicadores de gestão do uso recursos hídricos associada à análise multicritério, seriam instrumentos importantes para auxiliar o processo de alocação de recursos e implementação de ações de intervenção.

Com base nesse princípio, o trabalho teve por finalidade avaliar a aplicabilidade do uso de um método multicritério de auxílio à tomada de decisão, por meio da seleção de indicadores de gestão do uso recursos hídricos e da simulação de seu uso. Para tanto, elaborou-se um banco de dados e definiu-se um conjunto de indicadores segundo a estrutura conceitual denominada *pressão-estado-resposta*.

A análise dos dados disponíveis e as informações proporcionadas permitiram uma caracterização abrangente da criticidade da área de estudo em relação à utilização dos recursos hídricos. Entre outros aspectos, constatou-se o baixo índice de qualidade das águas, comprometimentos da disponibilidade hídrica da bacia, deficiências nos sistemas de tratamento de esgotos e uso e ocupação intensa da terra. Tais informações serviram de base para a definição dos indicadores e para atribuição dos valores correspondentes.

A metodologia utilizada para a seleção dos indicadores de sustentabilidade possibilitou a definição de uma proposta de indicadores compatível com os dados e informações disponíveis, fornecendo um diagnóstico representativo das características de cada sub-bacia avaliada. A aplicação da proposta de indicadores de gestão de recursos hídricos, selecionada a partir da estrutura conceitual de indicadores *Pressao-Estado-Resposta*, possibilitou uma classificação satisfatória das sub-bacias, segundo suas prioridades por determinados tipos de intervenções.

Em relação à análise multicritério, observou-se a adequação da técnica utilizada à abordagem proposta e a importância dos resultados obtidos. A associação entre os indicadores de sustentabilidade do uso de recursos hídricos e o método de agregação multicritério possibilitou incorporar parâmetros que descrevem as condições ambientais (estado), as pressões sobre os recursos hídricos (pressão) e as respostas da sociedade (resposta).

A partir dos indicadores definidos, dos pesos atribuídos a cada um e de um conjunto de ações predefinidas, foi possível classificar as sub-bacias que integram a área de estudo por ordem de preferência em relação às categorias intervenções, indicando a necessidade relativa de cada sub-bacia de uma determinada ação de intervenção.

De modo geral, os resultados foram bastante satisfatórios e coerentes com a realidade das sub-bacias avaliadas, notadamente nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, as quais foram classificadas como prioritárias em praticamente todas as categorias de intervenção consideradas. A coerência dos resultados pode ser reforçada com a classificação gerada para as bacias dos rios Jaguari e Camanducaia. No caso da Bacia do Rio Camanducaia, o resultado de sua classificação indicou-a como a de menor necessidade de intervenção, o que é consistente com as características dessa bacia.

Por outro lado, observou-se que, para a maioria das categorias avaliadas, existem sub-bacias que têm igual preferência e/ou necessidade de determinado tipo de ação. Esses casos poderiam ser mais bem avaliados com uma ponderação “precisa” dos indicadores. Constatou-se, por meio de simulações, maior influência de determinados indicadores nos resultados obtidos, o que significa maior sensibilidade do método ELECTRE III a esses parâmetros.

De modo geral, os resultados obtidos nesta experiência sugerem a necessidade de maiores investigações. Seguem-se, assim, algumas recomendações que poderão contribuir para um aperfeiçoamento deste estudo:

- Submeter a proposta de indicadores pré-selecionada a partir da estrutura *pressão-estado-resposta* a uma equipe de especialistas do setor de recursos hídricos, para que os parâmetros possam ser avaliados e ajustados, de acordo com a categoria analisada;
- Discutir os resultados da simulação com atores envolvidos no processo de decisão para que os parâmetros e respectivas ponderações possam ser devidamente ajustados às reais características e interesses inerentes à bacia hidrográfica em questão;
- Aplicar a metodologia proposta em outras áreas de estudo, para avaliar sua aplicabilidade em diferentes contextos ambientais, socioeconômicos e político-institucionais.
- Utilizar o procedimento metodológico formulado para hierarquizar ações de intervenção em cada bacia hidrográfica analisada. Dessa forma, é possível avaliar quais ações de intervenção são mais prioritárias em determinada bacia ou sub-bacia hidrográfica.

## Referências Bibliográficas

BARBOSA, P. S. F. **O emprego da análise multiobjetivo no gerenciamento dos recursos hídricos brasileiros.** Revista de Ciência e Tecnologia. São Paulo, 1997.

BARTH, F. T. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos.** São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 1987.

BUCHANAN, J.; SHEPPARD, P.; VANDERPOOTEN, D. **Project ranking using electre III.** < <http://www.mnqt.waikato.ac.nz/depts/mnss/john/electwp.pdf> >, 5/11/2002.

BENAYOUN, R.; ROY, B.; SUSSMAN, B. **ELECTRE: une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples.** Note de Travail No 49. Paris: Sema, 1966.

BOUYSSOU, D. **Outranking relations: do they have special properties?.** 23p. Institut de Statistique, Université Libre de Bruxelles, Belgique. 1995.

CBH-PCJ - Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Comitê das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: implantação, resultados e perspectivas.** Campinas, 1996.

CBH-PCJ – Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. **Plano de Bacia Hidrográfica 2000-2003.** < <http://w.w.w.comitepcj.sp.gov.br> >, 01/03/2002.

CETEC - Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação. **Situação dos recursos hídricos nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí,** < <http://w.w.w.comitepcj.sp.gov.br> >, 13/09/2001.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** 230p. Relatório Técnico - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. < <http://w.w.w.cetesb.sp.gov.br/Agua/agua-geral.asp> > 21/06/2001.

CNUAD - Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento. **Agenda 21.** Rio de Janeiro, 1992.

COHON, J. L. **Multiobjective programming and planning.** California: Academic Press, 1978.

CHONCONG, V., HAIMES, Y. Y. **Multiobjective decision making: theory and methodology.** New York-North-Holand: Academic Press, 1983.

CORDEIRO NETTO, O. M.; SOUZA, M. A. A. **Análise tecnológica multiobjetivo de alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Pós-tratamento de

Efluentes de Reatores Anaeróbios - Coletânea de Artigos Técnicos do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB2), Brasília, v.1, p.205-220p, 2000.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica -. **Plano integrado de aproveitamento e controle dos recursos hídricos das bacias Alto Tietê, Piracicaba e Baixada Santista.** 214p. Relatório Resumo. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras, Estado de São Paulo, 1997.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2000-2003.** <<http://w.w.w.sigrh.sp.gov.br>>, 01/02/2001.

DUCKSTEIN, L. ; BOGARDI, I. **Multi-objctive aproaches to river basin planning.** Civil Engineering Practice, p.415-450. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1988.

FRICKE, G. T.; NOUR, E. A. A.; SINGER, E. M. **Análise multicriterial da Bacia do Rio Piracicaba através das metodologias ELECTRE I e ELECTRE II.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 15, 1989, Belém. Anais da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. Belém, p.193-208, 1989.

GENERINO, R. C. M. **Desenvolvimentos em metodologias multicritério para procedimentos de avaliação em auditorias ambientais:** aplicação para estações de tratamento de esgotos em Brasília/DF. 171p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 1999.

GERSHON, M.; DUCKSTEIN, L. ; MCANIFF, R. **Multiobjective river basin planning with qualitative criteria.** Water Resources Research, v.18, n. 2, p.193-202. Arizona: American Geophysical Union, 1982.

GOBBETTI, L.E.C. **Análise multiobjetivo aplicada ao planejamento de sistemas de recursos hídricos.** 132p. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993

GOICOECHEA, A., HANSEN, D. R., DUCKSTEIN, L. **Multiobjective decision analysis with engineering and business applications.** New York: John Wiley & Sons, 1982. 519p.

HARADA, A. L. **Metodologias para a seleção de soluções de coleta, tratamento e disposição de esgotos em condomínios do Distrito Federal.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 1999.

HARRIS, V. **Seleção de sítios potenciais para a implantação de usinas reversíveis através da análise multicriterial.** Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1992.

KETTELHUT, J. T. S.; RODRIGUEZ, F. A.; GARRIDO, R. J.; PAIVA, F.; CORDEIRO NETTO; RIZZO, H. **Aspectos legais, institucionais e gerenciais de recursos hídricos no Brasil.** O Estado das Águas no Brasil. Brasília: ANEEL, MME, MMA, p.21-26, 1999.

LANNA, A. E. **Economia de recursos hídricos:** Parte 1. <<http://w.w.w.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hidp04/hidp04.htm>>, 26/06/2002.

MAGALHÃES JR., A. P.; CORDEIRO NETTO, O. M.. **Avaliação de indicadores sobre os recursos hídricos no Brasil por meio da aplicação da Técnica Delphi.** (no prelo).

MARTIN, R.; BRUEN, M. **Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within electre.** European Journal of Operational Research, v.107, n.3, p.542-551, abr, 1998.

MAYSTRE, L.Y., PICTET, J. E SIMOS, J. **Méthodes multicritères ELECTRE:** description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1994. 323 p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Recursos Hídricos no Brasil.** <<http://w.w.w.mma.gov.br/port/srh/acervos/publica/doc/rhbrasil.pdf>>, 22/06/2002.

MOTA, S. **Urbanização e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1999. 352p.

MOTTA, R. S. **Utilização de critérios econômicos para a valorização da água no Brasil.** <<http://w.w.w.ead.fea.usp.br/ead-pesq/arquivos/c12-art07.pdf>>, 03/07/2002.

MOUSSEAU, V., FIGUEIRA, J., NAUX J. Ph. **Using assignment exemples to infer weights for ELECTRE TRI method:** some experimental results. European Journal of Operational Research, v.130, n.2, p.263-275. Elsevier Science B. V., 2001.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. **OECD core set of indicators for environmental performance reviews.** < <http://w.w.w.oecd.org/EN/documents/0,,EN-documents-0-nodirectorate-no-1-no-0-no-no-3,00.html>>, 07/02/2002.

PARDALOS, P. M.; SISKOS, Y. ; ZOPOUNIDIS, C. **Advances in multicriteria analysis.** Nonconvex Optimization and its Applications, v. 5. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1995. 249p.

ROY, B. ; BERTIER, B. **La méthode ELECTRE II:** une méthode de classement en présence de critères multiples. Note de Travail, n.142, Groupe Metra, 1971.

ROY, B. **Méthodologie muticritère d'aide à la decision.** Paris: Economica, 1985. 423p.

ROY, B.; PRESENT, M.; SILHOL, D. **A programming method for determining which paris metro stations should be renovated.** European Journal of Operational Research, n.24, p.318-334. 1986.

ROY, B. **Decision-science or decision-aid science**. Caderno do LAMSADE, n. 97. Paris: Université de Paris-Dauphine, 1992.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**: desenvolvimento e meio ambiente. São Paulo: Editora Studio Nobel, 1993.103p.

SATO, M. ; SANTOS, J. E. **Agenda 21 em sinopse**. São Carlos: 1999.

SRHSO – Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo. **Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição (PQA)**. Relatório do Programa de Investimentos para Proteção e Aproveitamento dos Recursos Hídricos das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, 1999, CD-Rom.

TEIXEIRA, A. C. **A análise da tomada de decisões em recursos hídricos: a abordagem multicriterial e o paradigma analítico-racional**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 1994.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO O. M. **A gestão da água no Brasil**: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025. < [http://w.w.w.unb.br/ft/enc/recursos\\_hidricos/relatorio.pdf](http://w.w.w.unb.br/ft/enc/recursos_hidricos/relatorio.pdf) >, 21/09/2000.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

YEH, W. W.G. ; BECKER, L. **Multiobjective analysis of multireservoir operations**. Water Resources Research, v.18, n.5, p. 1326-1336, 1982.

YU, W. **ELECTRE TRI**: Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation. Documento do LAMSADE – Laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la decision. Paris: Université de Paris-Dauphine, 1992.

ZUFFO, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**. 301p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Faculdade de Engenharia Civil, São Carlos. 1998.

## **ANEXO**

Resultados fornecidos pelo método multicritério ELECTRE III  
Exemplo para a Categoria I

