

Pós-Graduação em  
Desenvolvimento Sustentável

**A SUSTENTABILIDADE DA ÁGUA:**  
**Proposta de um Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas**

Fábio Bakker Isaias  
Dissertação de Mestrado

Brasília – DF, março/2008



Universidade de Brasília  
Centro de Desenvolvimento Sustentável



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**A SUSTENTABILIDADE DA ÁGUA:**  
**Proposta de um Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas**

Fábio Bakker Isaias

Orientador: Saulo Rodrigues Filho

Dissertação de Mestrado

Brasília – D.F., março/2008

Isaias, Fábio Bakker.

A Sustentabilidade da água: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas./ Fábio Bakker Isaias. Brasília, 2008.

168p. : il.

Dissertação de mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. CDS

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



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**A SUSTENTABILIDADE DA ÁGUA:  
Proposta de um Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas**

Fábio Bakker Isaias

Dissertação de Mestrado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão Ambiental.

Aprovado por:

---

Saulo Rodrigues Filho, Doutor, Universidade de Brasília  
(Orientador)

---

Demetrios Christofidis, Doutor Universidade de Brasília  
(Examinador Interno)

---

Tiago Pinto da Trindade, Doutor  
(Examinador Externo)

Brasília-DF, 03 março, 2008

Ao meu filho, Francisco,  
pela pureza, leveza e persistência.  
Aos meus pais, pelo apoio incondicional.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pela paciência e apoio constante.

Ao professor Saulo Rodrigues pela maestria na orientação desse trabalho.

Ao professor Demetrios pelas contribuições.

Aos companheiros da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB): Solange, Vladimir, Marcelo, Maurício, Márcio e Geogines que me apoiaram direta e indiretamente nessa caminhada.

Agradeço em especial, ao Dr. Tiago pelas esclarecedoras conversas sobre a construção de uma dissertação, e ao Marco Garrido, que prestou fundamental apoio, confiando-me tempo, liberdade e perseverança, sem os quais este trabalho não estaria concluído.

A todos os colegas da CAESB que contribuíram neste trabalho.

À CODEPLAN, SEDUMA e TERRACAP que gentilmente cederam dados para esta pesquisa.

Aos professores e estudantes dos laboratórios de geoprocessamento da Geografia e Geologia da UnB.

Ao Felipe Negreiros, companheiro de trabalho de determinação inspiradora que sempre se manteve disposto para contribuições.

Ao Paulo Oliveira que primeiro me incentivou nesta jornada.

Ao meu filho Francisco, que me inspirou com sua vitalidade, persistência e alegria.

## RESUMO

A água é um recurso indispensável para a sobrevivência de todas as espécies e exerce uma influência decisiva na qualidade de vida das populações. Contudo, o modo como são utilizados e gerenciados os recursos hídricos tem levado a um nível de degradação ambiental e a um risco de escassez de água que comprometem a qualidade de vida desta e das gerações futuras. Gerenciar os recursos hídricos não é tarefa fácil, uma vez que envolve conflitos sociais, econômicos, políticos e ambientais. Este trabalho tem como objetivo a composição de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (ISBH), que permita subsidiar a adoção de políticas públicas no sentido da sustentabilidade do uso dos recursos hídricos. Como forma de validação do índice proposto, a pesquisa em questão aplicou a metodologia do ISBH em 11 microbacias do Distrito Federal, Brasil. O ISBH proposto é composto por quatro dimensões, a saber: ambiental; de qualidade da água; socioeconômica; e político institucional. As dimensões, por sua vez, são compostas por indicadores e estes, em alguns casos, por variáveis básicas. Os resultados da aplicação do ISBH estão pautados não somente na proposta de uma ferramenta de avaliação do grau de sustentabilidade de bacias hidrográficas, mas também na capacidade de apontar os principais responsáveis pelos avanços e retrocessos na busca pela sustentabilidade dessas bacias. Das 11 microbacias estudadas cinco apresentaram comprometimento significativo da sustentabilidade no período estudado. Os resultados mostraram, por exemplo, que as estratégias adotadas na gestão das microbacias do córrego Taquari e do ribeirão Pedras, refletiram avanços no caminho da sustentabilidade. Por outro lado, a análise temporal dos resultados do ISBH das microbacias dos córregos Currais e Pedras sugerem que a estratégia gestão dessas áreas levou a um comprometimento da sustentabilidade. O ISBH se mostrou uma ferramenta adequada para subsidiar tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas no processo de construção de caminhos mais sustentáveis para sociedade.

Palavras chave: Índice de sustentabilidade; Indicadores; Recursos hídricos; e Gestão Ambiental.

## ABSTRACT

The Water is an indispensable resource for the survival of all species and exerts a decisive influence in the population's life quality. However, the way that the water resources are used and managed has led to a level of environmental degradation and a risk of scarcity of water which compromises the life quality and the future generations. To manage water resources is not an easy task, since it involves social, economic, political and environmental conflicts. To measure the sustainability of some region, it is critical that the decision-makers have access to good indicators. The aim of this work is the composition of a sustainability index of watersheds (SIW), which subsidize the decision-makers the adoption of public policy in the way of the sustainability of the water resources management. As a form of validation of the proposed index, the research in question, applied the methodology of SIW in 11 watersheds of the Federal District, Brazil. The proposed SIW is composed of four dimensions: environmental, water quality, socioeconomic, and political-institutional. The results of the application of SIW are guided not only in the proposal of the tool of evaluation of the watersheds sustainability, but also in the capacity to point out the main responsible for the advances and the retrocession in the search for the sustainability of watersheds. It was concluded that the SIW was an appropriate tool to support decision-makers and formulators of public policies in the way of a sustainable society.

Keywords: Sustainability Index; Indicators; Water resources; and Environmental Management.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1. OBJETIVOS .....	18
1.1.1. Objetivo Geral .....	18
1.1.2. Objetivos Específicos .....	18
1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	18
1.3. ESCOPO DA PESQUISA .....	20
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>22</b>
2.1. SUSTENTABILIDADE DO DESENVOLVIMENTO .....	22
2.2. RECURSOS HÍDRICOS .....	26
2.2.1. Aspectos legais da gestão das águas.....	30
2.3. INDICADORES.....	33
2.3.1. Indicadores Ambientais e de Sustentabilidade .....	34
2.3.2. Indicadores Ambientais de Recursos Hídricos.....	43
2.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS SIG'S COMO FERRAMENTA GESTÃO AMBIENTAL.....	48
2.4.1. Geoprocessamento na análise do uso e ocupação do solo.....	51
<b>3. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL .....</b>	<b>53</b>
3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO DISTRITO FEDERAL .....	53
3.2. A QUESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO DISTRITO FEDERAL.....	55
3.3. ÁREA DE ESTUDO.....	57
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>68</b>
4.1. IMAGENS E TRATAMENTOS .....	68
4.2. MATERIAL E EQUIPAMENTOS.....	69

4.3.	MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DAS MICROBACIAS .....	71
<b>5.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DE BACIAS</b>	
	<b>HIDROGRÁFICAS. ....</b>	<b>75</b>
5.1.	DIMENSÃO AMBIENTAL .....	80
5.1.1.	Indicador de Cobertura Vegetal.....	80
5.1.2.	Indicador de Risco de Erosão .....	83
5.1.3.	Indicador Densidade de Estradas.....	89
5.1.4.	Indicador de Área impermeabilizada.....	91
5.2.	DIMENSÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA .....	93
5.2.1.	Indicador Índice de Qualidade da Água (IQA) .....	93
5.2.2.	Indicador de Turbidez.....	95
5.3.	DIMENSÃO SOCIOECONÔMICA .....	97
5.3.1.	Indicador de Renda.....	102
5.3.2.	Indicador de Educação.....	102
5.3.3.	Indicador de Saúde Pública .....	103
5.4.	DIMENSÃO POLÍTICO INSTITUCIONAL.....	105
5.4.1.	Indicador de Taxa de Urbanização do Entorno .....	107
5.4.2.	Indicador de Integridade de APP.....	109
5.4.3.	Indicador de Cobertura por Unidade de Conservação.....	112
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO DA APLICAÇÃO DO ISBH .....</b>	<b>114</b>
6.1.	ANALISE TEMPORAL DO ISBH POR MICROBACIA .....	114
6.2.	ANALISE COMPARATIVA DO ISBH ENTRE AS MICROBACIAS.....	143
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>147</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>149</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>165</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01. As cinco dimensões do desenvolvimento sustentável definidas por Sachs (1993) e adaptadas por Montibeller-Filho (2001). .....	25
Tabela 02. Agrupa as microbacias estudadas por região e destaca a que bacias elas estão inseridas. ....	63
Tabela 03. Classes de uso e ocupação do solo com as respectivas porcentagens de área impermeabilizada. ....	72
Tabela 04. Organização hierárquica dos componentes do ISBH .....	77
Tabela 05. Resumo do cálculo do ISBH. ....	78
Tabela 06. Porcentagem de cobertura vegetal (CV) por classe de uso e ocupação do solo .....	82
Tabela 07. Pontuação do indicador cobertura vegetal.....	82
Tabela 08. Perda de solo anual por erosão laminar. ....	84
Tabela 09. Pontuação do indicador risco de erosão. ....	85
Tabela 10. Valores da erodibilidade do solo (fator K) e fonte dos dados .....	87
Tabela 11. Classes de uso e ocupação do solo, valores do fator CP e fonte dos dados.....	88
Tabela 12. Pontuação do indicador de densidade de estradas. ....	91
Tabela 13. Classes de uso e ocupação do solo com as respectivas porcentagens de área impermeabilizada. ....	92
Tabela 14. Pontuação do indicador de área impermeabilizada. ....	93
Tabela 15. Pontuação do indicador Índice de Qualidade de Água.....	95
Tabela 16. Pontuação do indicador de turbidez média.....	96
Tabela 17. Pontuação do indicador de turbidez máxima.....	96
Tabela 18. Data de criação das Regiões Administrativas do Distrito Federal. ....	99
Tabela 19. Porcentagem da área da Região Administrativa (RA) em relação às microbacias.....	101
Tabela 20. Pontuação do indicador de renda per capita. ....	102
Tabela 21. Pontuação da variável básica porcentagem de analfabetismo e porcentagem da população com 2º grau completo por microbacia estudada.....	103
Tabela 22. Pontuação das variáveis básicas de esgotamento sanitário e de abastecimento de água....	105
Tabela 23. Pontuação do indicador taxa de urbanização do entorno. ....	108
Tabela 24. Pontuação do indicador de integridade de Área de Preservação Permanente (APP). ....	112
Tabela 25. Pontuação do indicador de cobertura por unidades de conservação.....	113
Tabela 26. Resultado dos indicadores e da dimensão ambiental da microbacia do córrego Taquari para os anos estudados. ....	115
Tabela 27. Resultado dos indicadores e da dimensão político institucional da microbacia do córrego Taquari para os anos estudados.....	115

Tabela 28. Resultado dos indicadores e da dimensão socioeconômica da microbacia do córrego Taquari para os anos estudados.....	116
Tabela 29. Resultado dos indicadores e da dimensão ambiental da microbacia do córrego Cachoeirinha para os anos estudados. ....	119
Tabela 30. Resultado dos indicadores e da dimensão ambiental da microbacia do córrego Barroão para os anos estudados. ....	122
Tabela 31. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Capão da Onça para os anos estudados.....	125
Tabela 32. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do ribeirão Pedras para os anos estudados. ....	129
Tabela 33. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Fumal para os anos estudados.....	131
Tabela 34. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Brejinho para os anos estudados. ....	133
Tabela 35. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Mestre D’Armas para os anos estudados. ....	135
Tabela 36. Resultado dos indicadores da dimensão ambiental e da própria dimensão ambiental da microbacia do córrego Mestre D’Armas para os anos estudados.....	136
Tabela 37. Resultado dos indicadores da dimensão político institucional e da própria dimensão político institucional da microbacia do córrego Mestre D’Armas para os anos estudados. ....	136
Tabela 38. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do ribeirão Corguinho para os anos estudados.....	138
Tabela 39. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Quinze para os anos estudados.....	140
Tabela 40. Resultado dos indicadores da dimensão ambiental e da própria dimensão ambiental da microbacia do córrego Quinze para os anos estudados.....	141
Tabela 41. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH das microbacias estudadas por região.....	146
Tabela 42 Resultado dos indicadores que compõem a dimensão ambiental e da própria dimensão ambiental das microbacia estudadas, por região. ....	165
Tabela 43 Resultado dos indicadores que compõem a dimensão de qualidade da água e a própria dimensão de qualidade da água das microbacia estudadas, por região. ....	166
Tabela 44 Resultado dos indicadores que compõem a dimensão de socioeconômica e a própria dimensão socioeconômica das microbacia estudadas, por região. ....	167
Tabela 45 Resultado dos indicadores que compõem a dimensão político institucional e a própria dimensão político institucional das microbacia estudadas, por região.....	168

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Taquari. ....	114
Gráfico 02. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Cachoeirinha.....	118
Gráfico 03. Variação do indicador do Índice de Qualidade da Água (IQA), do indicador de Turbidez e da dimensão de qualidade da água, nos anos de 1984, 1995 e 2006, para microbacia do córrego Cachoeirinha. ....	119
Gráfico 04. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Barroão.....	122
Gráfico 05. Variação do indicador do Índice de Qualidade da Água (IQA), do indicador de Turbidez e da dimensão de qualidade da água, nos anos de 1984, 1995 e 2006, para microbacia do córrego Barroão. ....	124
Gráfico 06. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Capão da Onça. ....	125
Gráfico 07. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Currais.....	127
Gráfico 08. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do ribeirão Pedras.....	129
Gráfico 09. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do ribeirão Fumal. ....	131
Gráfico 10. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Brejinho.....	133
Gráfico 11. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Mestre D'Armas.....	135
Gráfico 12. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do ribeirão Corguinho. ....	138
Gráfico 13. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Quinze. ....	140
Gráfico 15. Análise comparativa do ISBH entre as 11 microbacias estudadas. A legenda das microbacias está apresentada em ordem decrescente do valor do ISBH.....	143
Gráfico 16. Resultado do ISBH das 11 microbacias estudadas, para o ano de 2006, com proposta de corte entre aquelas com comprometimento da sustentabilidade (colunas em vermelho) e aquelas com a situação relativamente mais confortável (colunas em azul).....	145

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Pirâmide de formação dos índices .....	34
Figura 02. Mapa de localização da região de Paranoá e das microbacias formadas pelos córregos Taquari e Cachoeirinha. ....	64
Figura 03. Mapa de localização da região de Taguatinga e das microbacias formadas pelo córrego Currais e o ribeirão Pedras. ....	65
Figura 04. Mapa de localização da região de Brazlândia e das microbacias formadas pelos córregos Barrocão e Capão da Onça. ....	66
Figura 05. Mapa de localização da região de Planaltina e das microbacias formadas pelos córregos Corguinho, Brejinho, Fumal, Mestre D'Armas e Quinze. ....	67
Figura 06. Fluxograma representando as dimensões, indicadores e variáveis básicas que compõem o ISBH.....	80
Figura 07 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Taquari nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	117
Figura 08 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Cachoeirinha nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	121
Figura 09 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Barrocão nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	123
Figura 10 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Capão da Onça nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	126
Figura 11 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Currais nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	128
Figura 12 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Pedras nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	130
Figura 13 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Fumal nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	132
Figura 14 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Brejinho nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	134
Figura 15 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Mestre D'Armas nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	137
Figura 16 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do ribeirão Corguinho nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	139
Figura 17 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Quinze nos anos de 1984, 1995 e 2006.....	142

## 1. INTRODUÇÃO

A água tem estado no centro das atenções mundiais, dando origem a diversas discussões sobre seus usos, preservação, poluição e sustentabilidade. A água possui características essenciais para a sobrevivência da humanidade, que por sua vez é sua principal usuária e, também, uma das maiores responsáveis pela sua poluição. O fluxo da água utilizada pelas sociedades no meio urbano pode ser resumidamente descrito como: mover a água de onde se encontra disponível para onde seu uso se faz necessário e, removê-la após a utilização, retornando-a ao ambiente. (MIRANDA e TEIXEIRA, 2004).

Para Tonello (2005), a água é um recurso peculiar, não somente pela sua amplitude de utilização, mas também por ser um excelente indicador ambiental da qualidade da manipulação do solo pelo homem. Segundo esse autor as águas dos cursos que drenam uma região apresentam características físico-químicas próprias, que refletem as atividades de uso da terra na respectiva bacia hidrográfica.

As bacias hidrográficas constituem as unidades naturais para informações hidrológicas, podendo, também, ser usadas como unidades naturais de manejo da terra, uma vez que nelas se observa a dependência de todos os componentes do crescimento e desenvolvimento da sociedade.

Atualmente a atenção que tem sido dada ao tema água não está restrita a apenas uma área específica. Esse recurso natural tem sido objeto de debates internacionais sobre usos, conflitos e gestão das águas há pelo menos 35 anos quando a Organização das Nações Unidas assumiu a coordenação dessas discussões (ASSUNÇÃO e BURSZTYN, 2002).

No Brasil, a preocupação com a gestão das águas também se intensificou com o passar dos anos. Em 1997, surgiu uma lei federal que sintetiza as principais diretrizes e recomendações das grandes conferências internacionais sobre a questão das águas. A Lei nº 9.433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997) é hoje a referência de vanguarda para a gestão das águas no Brasil.

Por isso, dentre os problemas ambientais enfrentados hoje, a crise da água talvez seja a mais grave, já que a situação de sua escassez em termos de quantidade e qualidade afeta, em maior ou menor grau, todos os países do mundo, inclusive o Brasil (CHRISTOFIDIS, 2002). A distribuição irregular (espacial e temporal) da água no planeta e a sua crescente deterioração, aliadas ao pouco conhecimento a sustentabilidade desse recurso e à falta de

alternativas para a moradia e abastecimento geram situações complexas que acabam por envolver não só as populações que estão diretamente imersas nesses contextos como também o restante da sociedade.

O Distrito Federal (DF) se encontra inserido em um planalto que, apesar de ser uma área rica em nascentes, possui cursos de água pouco extensos e com vazões modestas, o que leva a limitações na quantidade de água disponível para o abastecimento (CDRH, 2005). De acordo com dados publicados pelo CDRH (2005), a Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente afirma que a disponibilidade hídrica do DF já se encontra abaixo do ideal. Somando-se a isso, o clima e a composição da rede hidrográfica local agravam ainda mais a problemática dos recursos hídricos no DF.

A dinâmica do crescimento populacional urbano e a agricultura são dois dos principais fatores que vêm contribuindo para o comprometimento dos recursos hídricos do DF. Segundo Genz e Tucci (1995) os principais impactos que decorrem do desenvolvimento de uma área urbana sobre os processos hidrológicos, estão ligados à forma de ocupação da terra, e também ao aumento das superfícies impermeáveis em grande parte das bacias que se localizam próximas a zonas de expansão urbana ou inseridas no perímetro urbano.

De acordo com Campana e Tucci (1994) as bacias urbanas necessitam ser planejadas considerando os impactos do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos. Contudo, a falta de planejamento adequado e as irregularidades na ocupação descontrolada tornam esta tarefa bastante difícil. Bossel (1999) relata ser necessário reconhecer indicadores apropriados para direcionar a sustentabilidade dos centros urbanos e seu entorno.

Segundo Meirelles et. al. (2005), os indicadores ajudam a determinar as alterações no ambiente, selecionando medidas chaves, que podem ser físicas, químicas, biológicas ou sócio-econômicas, e que oferecem informações úteis à compreensão do ambiente como um todo.

Os indicadores têm sido utilizados na administração, seja ela pública ou privada de vários sistemas. Existem vários indicadores para cada ramo ou segmento que se queira analisar: indicadores de desempenho, para avaliar pessoas e projetos; indicadores econômico-financeiros, para a comparação de empresas e países; indicadores sócio-econômicos, para a análise da sociedade, entre outros, resumindo uma série de informações que permitirão a tomada de decisão pelo administrador (BOSSSEL, 1999 apud MIRANDA e TEIXEIRA, 2004).

Ultimamente, os indicadores vêm sendo utilizados de forma conjunta, agregando uma série de informações, buscando uma visão integrada do objeto de estudo. Muitas vezes utiliza-se a comparação entre indicadores de diversas instituições, sejam empresas ou governos, de

forma que os seus administradores obtenham uma base de comparação e saibam que áreas são mais deficientes, priorizando os seus investimentos. Os indicadores devem ser apresentados de forma a possibilitar análises e avaliações da transformação do meio físico e social, buscando a elaboração e formulação de políticas públicas (MIRANDA e TEIXEIRA, 2004).

Segundo estes autores, na construção de um sistema de indicadores, é importante que se estabeleçam os critérios e os métodos de forma coerente com os objetivos pretendidos e também com os recursos humanos, materiais e financeiros disponíveis em um dado contexto, podendo alterar a forma de manejar os recursos proporcionar uma melhor utilização do bem natural.

Segundo Ribeiro (2002), a qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica é possível de ser avaliada, contudo, deve ser definido um conjunto de indicadores específicos, derivado de um modelo de informação que represente a realidade da bacia. Construir indicadores de sustentabilidade é algo complexo, uma vez que eles devem refletir a relação da sociedade com o meio ambiente numa perspectiva ampla, considerando todos os fatores envolvidos no processo. Adotar uma postura não sistêmica diante desse problema é ignorar a realidade dos fatos, pois os elementos formadores são interdependentes e multifuncionais.

Para Silveira e Bocayuva (2004), apud Benetti (2006), o maior desafio do desenvolvimento sustentável é a compatibilização da análise com a síntese, isto é, construir um desenvolvimento dito sustentável juntamente com a escolha de indicadores que mostrem esta tendência. A complexidade de situações que envolvem o desenvolvimento sustentável requer, para sua análise, sistemas interligados, indicadores inter-relacionados ou a agregação de diferentes indicadores.

A busca por instrumentos que reduzam a incerteza na tomada de decisão, como os índices e indicadores, configuram uma importante ferramenta para os gestores, pois ocorrem situações em que o tomador de decisão tem pouco ou nenhum conhecimento ou informação para atribuir probabilidades a cada estado da natureza ou a cada evento futuro.

Alguns trabalhos têm sistematizado os indicadores em basicamente quatro categorias, dimensões ou fatores: ambientais, econômicas, sociais e institucionais (IBGE, 2002; CHAVES e ALIPAZ, 2007).

São muitos os fatores que impactam a sustentabilidade dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Entre eles merecem destaque aqueles relacionados a fatores sociais, econômicos e ambientais. Normalmente, esses fatores são tratados separadamente, numa análise segmentada do problema e por consequência da realidade. Com a finalidade de relacionar os fatores ambientais, hidrológicos, socioeconômicos e político-institucionais de

uma forma integrada e num processo dinâmico, que foi desenvolvido o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (ISBH).

O ISBH foi inspirado na plataforma HELP (*Hydrology, Environment, Life e Policy*) desenvolvido pelo Programa Hidrológico Internacional (PHI) da UNESCO para a América Latina e o Caribe. O PHI tem como objetivo principal melhorar a qualidade de vida dos habitantes da região por meio do desenvolvimento científico e tecnológico das ciências da água, utilizando-se de um enfoque holístico.

Segundo Falkenmark (2004), a aplicação da plataforma HELP encoraja as políticas relacionadas ao manejo dos recursos hídricos, incentivando a comunidade científica a trabalhar em conjunto com os tomadores de decisão e a sociedade de maneira geral, num campo organizado e padronizado internacionalmente, possibilitando a comparação do grau de sustentabilidade das bacias hidrográficas pelo mundo.

Em trabalho realizado por Chaves e Alipaz (2007), foi constituído um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas baseado no modelo HELP desenvolvido pela UNESCO. Neste trabalho, Chaves e Alipaz (2007) concluíram que o índice adotado se comportou como uma ferramenta dinâmica, que agregou adequadamente as variáveis propostas e produzindo informações confiáveis.

No caso do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (ISBH) desenvolvido nesse trabalho optou-se por uma variação do HELP. Como foi dito, as dimensões que compõem o ISBH proposto nesse trabalho são: ambientais, de qualidade da água, socioeconômicos e político-institucionais. Cada dimensão adotada é composta por indicadores e em alguns casos variáveis básicas.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Compor um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, que permita subsidiar a adoção de políticas públicas no sentido da sustentabilidade do uso dos recursos hídricos.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

Analisar a evolução do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas (ISBH) em 11 (onze) microbacias onde há captação de água para abastecimento humano no Distrito Federal (DF), por meio da análise temporal, referente aos anos 1984, 1995 e 2006.

Discutir a importância dos índices e indicadores de sustentabilidade, em especial aqueles relacionados a recursos hídricos, no contexto do desenvolvimento sustentável.

Analisar comparativamente os resultados da aplicação do índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas em 11 microbacias do DF, com foco na eleição de conflitos potenciais para adoção de políticas públicas.

## 1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Atualmente, cerca de 1.2 bilhão de pessoas no mundo atualmente não têm acesso a água potável e 2,4 bilhões de pessoas não possuem acesso a serviços de saneamento. Adicionalmente, mais de 3 milhões de pessoas morrem todos os anos vítimas de doenças causadas por água de má qualidade (ONU, 2003).

Segundo Carter et al. (2005), apud Ramos (2005), um grande número de comunidades urbanas em países desenvolvidos e em desenvolvimento tem enfrentado crescentes dificuldades de suprir suas necessidades de quantidade e qualidade de água para uso doméstico e industrial, entre outros usos. Para estes autores, um fator que tem contribuição fundamental para gerar tal situação é a não adoção de uma abordagem integrada para a gestão da água e o planejamento do uso da terra, o que é fundamental para uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

No caso específico do Distrito Federal (DF), Gama (2002), em estudo do perfil ambiental dos recursos hídricos no Centro-Oeste brasileiro destacou a situação diferenciada e

delicada do DF como unidade política. “Um caso especial se refere ao Distrito Federal, que situa-se em uma área de limitada disponibilidade hídrica visto que é localizada nas regiões limítrofes das bacias dos rios Tocantins, São Francisco e Paraná. Aproximadamente 2 milhões de habitantes distribuem-se em uma área de 5.822 km<sup>2</sup>, resultando, portanto densidades demográficas superiores a 300 hab./km<sup>2</sup>, além de apresentar as maiores médias anuais de crescimento populacional, em torno de 2,6%. Ou seja, o Distrito Federal, em termos das Unidades Federativas do Centro-Oeste, apresenta as condições menos sustentáveis no que se refere ao uso da água para abastecimento humano”.

Historicamente, a humanidade se defrontada com desafios ligados à ocupação territorial, bem como com a exploração dos recursos naturais. Estes desafios são de naturezas diversas, mas estão essencialmente atrelados tanto ao conceito de desenvolvimento humano, quanto à sobrevivência e ao bem-estar dos povos.

Enquanto ferramenta de avaliação, este trabalho proporciona elementos para a compreensão dos padrões de organização do espaço urbano e seu entorno em relação aos recursos hídricos, os quais estão cada vez mais alterados pela ação antrópica. As informações deste trabalho poderão contribuir para o estabelecimento de medidas de preservação, conservação e recuperação das microbacias estudadas, contribuindo para o estabelecimento de um planejamento ambiental, subsidiando tomadores de decisão na formulação de políticas públicas adequadas e voltadas para o desenvolvimento sustentável.

Outro fator relevante que o estudo oferece, por meio da composição de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, é a possibilidade de monitoramento da sustentabilidade do uso e ocupação do solo nas microbacias estudadas. Esse aspecto ganha especial importância quando tratamos dos mananciais destinados ao abastecimento humano.

Segundo Sirigate et al. (2005), quando os mananciais de superfície têm a finalidade de abastecimento público e passam a fazer parte de um sistema de captação, deve-se examinar cuidadosamente todos os elementos que digam respeito às condições mínimas de qualidade dessa água. As águas superficiais raramente estão livres de contaminação, mesmo nas bacias com pouca ou nenhuma atividade humana. A ocupação desordenada de uma bacia provoca grandes alterações na qualidade da água.

Segundo estes autores, em estudo sobre a gestão da qualidade ambiental da água de mananciais de abastecimento público como estratégia de redução de custos da água, conclui que ações pró-ativas trazem melhor rendimento e menores custos de tratamento de água de abastecimento público. A aplicação ISBH permite não somente a identificação dos conflitos atuais existentes na bacia hidrográfica estudada, como a análise de tendências de agravamento

de conflitos ou surgimento de novos problemas. A instituição do ISBH como uma ferramenta de gestão almeja sustentar o processo de tomada de decisão, através da avaliação da informação, convertendo-a numa série de medidas úteis e significativas, reduzindo as probabilidades de se adotar decisões equivocadas, principalmente na formulação de políticas públicas.

### 1.3. ESCOPO DA PESQUISA

O trabalho abrange o estudo e definição de um índice que avalie a sustentabilidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. O índice adotado buscou integrar os principais fatores que influenciam na dinâmica das bacias hidrográficas do Distrito Federal, a saber: fatores ambientais; hidrológicos; socioeconômicos e político institucionais.

De maneira geral, a construção de um indicador compreende um nível considerável de subjetividade. Segundo Van Bellen (2005), os indicadores mais desejados são aqueles que simplifiquem um conjunto de informações relevantes, dando visibilidade a um determinado fenômeno. Portanto, uma dificuldade prática dos indicadores, é que estes apresentam um determinado grau de generalização, uma vez que qualificam e quantificam pontualmente um elemento, fator ou sistema que pretende analisar.

Sobre a importância, validade e limitação no uso dos indicadores, Bossel (1999) afirma que a maioria dos indicadores de sustentabilidade não possui um sistema teórico conceitual que reflita a viabilidade e operação do sistema total, pois demonstram a experiência e os interesses de pesquisa dos especialistas que os utilizaram.

No presente trabalho, uma das limitações refere-se aos dados socioeconômicos que, em sua maioria, são gerados com base em limites político-administrativos (ex. Regiões Administrativas - RAs do Distrito Federal). Destaca-se ainda a limitação das informações pela constante criação de novas RAs no Distrito Federal. Segundo Magalhães Júnior (2007), a realidade brasileira mostra que a maior parte dos dados socioeconômicos gerados pelos programas federais e estaduais de monitoramento tem como base a escala e os limites municipais (como os bancos de dados do IBGE).

Como esse trabalho se propõe a calcular o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (ISBH) em três anos (1984, 1995 e 2006), deve-se considerar que tanto as metodologias quanto as tecnologias (principalmente no caso das imagens de satélite),

evoluíram com o tempo, gerando a necessidade de pequenas adaptações para que o ISBH pudesse ser calculado, possibilitando uma análise temporal das microbacias estudadas.

#### 1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho está estruturado em sete partes. A primeira consiste na introdução ao assunto desenvolvido na dissertação, incluindo seus objetivos e justificativa. A segunda refere-se à revisão de literatura abordada no trabalho. Nesta parte foram tratados os temas: desenvolvimento sustentável; recursos hídricos; indicadores; e sistemas de informações geográficas como ferramenta de gestão ambiental.

A terceira parte da dissertação consiste na caracterização da área de estudo, sendo abordadas as questões relativas aos recursos hídricos no Distrito Federal, em especial nas onze microbacias escolhidas para aplicação do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas – ISBH.

A quarta parte aborda os materiais e métodos adotados para o desenvolvimento do trabalho, com destaque para o mapeamento de uso e ocupação do solo das microbacias estudadas. Em seguida, constituindo a quinta parte da dissertação, apresenta-se o ISBH, acompanhado das metodologias de cálculo das dimensões e indicadores que compõe o índice.

A sexta parte consiste na apresentação e discussão dos resultados da aplicação do ISBH nas onze microbacias escolhidas para os anos 1984, 1995 e 2006. Os resultados foram apresentados em duas fases: a primeira referente à análise temporal do ISBH por microbacia; e a segunda à análise comparativa entre as microbacias. Por fim, na sétima parte, são apresentadas as conclusões da dissertação.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. SUSTENTABILIDADE DO DESENVOLVIMENTO

Segundo Sampaio (2002), dentro de uma concepção preventiva, a problemática ambiental reflete a percepção de que o volume de impactos destrutivos gerados pela ação antrópica sobre os ecossistemas tem-se ampliado a horizontes de médio e longo prazo, de modo a se repensar as atuais formas de desenvolvimento, tanto capitalistas como socialistas, favorecendo uma internalização efetiva do meio ambiente, enquanto recursos naturais, espaço e qualidade do habitat, para que se transcenda a preocupação por suas repercussões no plano puramente biofísico, como também no processo de intercâmbio entre fatores geobiofísicos e sócio-culturais.

Segundo o método *Ecological Footprint* (Pegada Ecológica), que avalia o espaço ecológico correspondente para sustentar um determinado sistema ou unidade, a demanda por recursos naturais requerida pela humanidade em 2006, ultrapassa em 25% a capacidade de oferta de áreas bioproductivas do planeta terra. (WWF, 2006). Alertas cada vez mais fortes indicam que a capacidade de regeneração (resiliência) do ecossistema mundial já foi ultrapassada: estamos consumindo o estoque (o capital natural) formado pela biosfera, ao invés de viver da produção líquida da fotossíntese - como analogia, dos juros que a natureza proporciona (CECCA, 2001).

O desenvolvimento moderno consagrado na sociedade ocidental transformou meios em fins. A pergunta que se verifica, é: quanto é o suficiente? Que nível de consumo a Terra pode sustentar? (DURING, 1993).

A dinâmica de funcionamento da sociedade pós-industrial impõe um estilo de vida insustentável para o meio ambiente, conduzindo a três grandes dívidas (ou crises): ecológica (ou natural), social-econômica e cultural, que estão intimamente interligadas e possuem a mesma origem: a lógica da reprodução do capital (MELO, 2003). Nesse caminho, segundo Barbieri (1997), o mito do desenvolvimento revela-se uma farsa, pois estava fundado tanto na crença de que poderia ser generalizável (promessa de abundância para muitos), quanto na concepção de infinitude do tempo econômico: seria durável (promessa de sustentabilidade).

O equívoco de se conceber o desenvolvimento como um processo sem fim aponta para que devamos discutir os fins do desenvolvimento. Com esta intenção, alguns integrantes da comunidade mundial realizaram alguns encontros (reuniões e conferências) para reavaliarem o modelo de desenvolvimento adotado pela economia: ligado apenas à idéia de crescimento.

O Desenvolvimento Sustentável (DS), *sustainable development* ou *nachhaltige Entwicklung* é um conceito aparentemente indispensável nas discussões sobre a política do desenvolvimento no final deste século (BECKER, 2002).

Estas discussões merecem ser referenciadas por sua contribuição à elaboração do conceito de Desenvolvimento Sustentável: Clube de Roma – 1972, que publicou o documento “*The Limits to Growth*”; o surgimento do termo ecodesenvolvimento em 1973; a Declaração de Cocoyok em 1974, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento e do Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas; o relatório da Fundação *Dag-Hammarskjöld* em 1975, que aprofundou as conclusões da Declaração de *Cocoyok*; o Relatório “Nosso futuro comum”, também chamado de “Relatório de Brundland”; a ECO 92 (também conhecida como RIO 92) que foi organizada pela ONU no Rio de Janeiro em junho de 1992, onde foram discutidos os compromissos consensuais a serem tomados para atingir um desenvolvimento mais sustentável para o século XXI – documento conhecido como Agenda 21; e, mais recentemente, a RIO +10, que ocorreu em Johannesburgo, na África do Sul, em 2002.

O termo Desenvolvimento Sustentável pode ser visto como a palavra-chave desta época, sendo que para ele existem numerosas definições. Embora existam várias definições, ou talvez devido exatamente a este fato, não se sabe ou não se tem uma concordância sobre o que realmente este termo significa (BENETTI, 2006). As definições mais conhecidas e citadas são as do Relatório Brundtland e a da própria Agenda 21. Para os dois documentos citados, o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (CMMAD,1991).

Segundo o documento da Agenda 21 (2000), o conceito de desenvolvimento sustentável contém dois elementos essenciais: o conceito de "necessidade", sobretudo as necessidades fundamentais dos seres humanos, que devem receber a máxima prioridade; e, a noção das limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõem ao meio ambiente, impedindo-o de atender às necessidades presentes e futuras.

O termo desenvolvimento sustentável é claramente carregado de valores, nos quais existe uma forte relação entre os princípios, a ética, as crenças e os valores que fundamentam uma sociedade ou comunidade e sua concepção de sustentabilidade. A diferença nas definições é decorrente das diferentes abordagens que se tem sobre o conceito (BENETTI, 2006).

Buarque (2002) acredita que a busca por um novo modelo de desenvolvimento, sustentável no decorrer do tempo, é necessária e “a questão não é quanto irá custar para se

realizar essa transformação, e sim quanto custará se falharmos”. Para tanto, é fundamental que se reconheçam as múltiplas dimensões da sustentabilidade e os múltiplos objetivos dos meios de vida das pessoas. No entanto, com a diversidade vêm os conflitos. São inevitáveis os conflitos dentre os resultados dos meios de vida das pessoas com as dimensões e os resultados da sustentabilidade, por exemplo: conflito entre a necessidade de maior segurança nos meios de vida, identificada na comunidade, e as preocupações mais abrangentes com a sustentabilidade ambiental; conflito entre maximizar a produção e a renda a curto prazo e prevenir-se contra a vulnerabilidade dos impactos externos a longo prazo; conflito entre alcançar um objetivo individual, familiar ou comunitário, relativo aos meios de vida, e a necessidade de não comprometer os meios de vida de outras pessoas.

O desenvolvimento sustentável deve, assim, ser considerado e alicerçado sob uma ótica multidisciplinar, com modelos mentais mesclados a fim de se otimizarem os estudos e avaliações do processo de desenvolvimento de um determinado local, segundo dimensões diferentes (social, ambiental, econômica, espacial e cultural), mas interdependentes (Silva e Mendes, 2005). Sachs (1993), apud Montibeller-Filho (2001), propõe considerar simultaneamente cinco dimensões para se planejar o desenvolvimento de uma sociedade rumo à sustentabilidade: social, ecológica, espacial, econômica e cultural (tabela 01).

Tabela 01. As cinco dimensões do desenvolvimento sustentável definidas por Sachs (1993) e adaptadas por Montibeller-Filho (2001).

<b>DIMENSÃO</b>	<b>COMPONENTES</b>	<b>OBJETIVOS</b>
Sustentabilidade Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>criação de postos de trabalho que permitam a obtenção de renda individual adequada;</li> <li>produção de bens dirigida prioritariamente às necessidades básicas sociais.</li> </ul>	Redução das desigualdades
Sustentabilidade Econômica	<ul style="list-style-type: none"> <li>fluxo permanente de investimentos públicos e privados;</li> <li>manejo eficiente dos recursos;</li> <li>absorção dos custos ambientais;</li> <li>endogeneização: contar com suas próprias forças.</li> </ul>	Aumento da produção e da riqueza social, sem dependência externa
Sustentabilidade Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>produzir respeitando os ciclos ecológicos dos ecossistemas;</li> <li>prudência no uso dos recursos naturais;</li> <li>prioridade à produção de biomassa e à industrialização de insumos naturais renováveis;</li> <li>redução da intensidade energética e aumento da conservação de energia;</li> <li>tecnologias e processos produtivos de baixo índice de resíduos;</li> <li>cuidados ambientais.</li> </ul>	Melhoria da qualidade do meio ambiente e preservação das fontes de recursos energéticos e naturais para as próximas gerações
Sustentabilidade Espacial	<ul style="list-style-type: none"> <li>desconcentração espacial (de atividades e de população);</li> <li>desconcentração/democratização do poder local e regional;</li> <li>relação cidade/campo equilibrada (benefícios centrípetos).</li> </ul>	Evitar excesso de aglomerações
Sustentabilidade Cultural	<ul style="list-style-type: none"> <li>soluções adaptadas a cada ecossistema;</li> <li>respeito à formação cultural comunitária.</li> </ul>	Evitar conflitos culturais com potencial regressivo

Fonte: Sachs (1993) adaptado por Montibeller-Filho (2001)

A questão social envolve temas relativos à interação dos indivíduos e à sociedade em termos de sua condição de vida. A principal discussão, nesta ótica, recai sobre a pobreza e o ritmo de crescimento populacional (SILVA e MENDES, 2005). Sachs (1993) propõe que se defina um processo de desenvolvimento que leve a um crescimento estável com distribuição

equitativa de renda, promovendo então, a diminuição das diferenças sociais e a melhoria nos padrões de vida.

A sustentabilidade ambiental ou ecológica deve refletir na inclusão de um novo capital para o sistema capitalista, o capital natural (SILVA e MENDES, 2005). Para Sachs (2000) este tipo de sustentabilidade deve ampliar a capacidade do planeta em fornecer recursos naturais, minimizando os impactos causados. Para tanto, continua o autor, deve-se diminuir a utilização de combustíveis fósseis e a emissão de poluentes, aumentar a eficiência dos recursos explorados, substituir o uso de recursos não-renováveis por renováveis, e promover políticas que visem a conservação de matéria e energia, investindo em pesquisa de tecnologias limpas.

A percepção espacial ou geográfica da sustentabilidade diz respeito ao estabelecimento da real dinâmica do espaço considerado (município, região e outros) a fim de que se possam definir os objetivos e recursos existentes na localidade e refletir sobre a interação com os demais meios (SILVA e MENDES, 2005). Para atingir este objetivo, “deve-se procurar uma configuração rural-urbana mais adequada para proteger a diversidade biológica, ao mesmo tempo em que melhora a qualidade de vida das pessoas” (VAN BELLEN, 2005, p.38).

A dimensão econômica deve levar em conta que existem outros aspectos importantes a serem considerados, não apenas a manutenção de capital e as transações econômicas (SILVA e MENDES, 2005). Nesta proposta, a economia deve possibilitar uma alocação e uma gestão mais eficiente dos recursos e um fluxo regular dos investimentos públicos e privados (SACHS, 1993).

Dessa forma, o desenvolvimento sustentável não deve ser visto como algo perfeito, acabado e completo, é necessário considerar a desordem, o obscuro, a incerteza e, principalmente, a incompletude do conhecimento para se pensar o ambiente. E esta proposta configura-se como um objetivo a ser alcançado pela sociedade e pela ciência para a construção de um modo de vida mais sustentável (MELO, 2003).

## 2.2. RECURSOS HÍDRICOS

A água é um recurso indispensável para a sobrevivência de todas as espécies e exerce uma influência decisiva na qualidade de vida das populações. Contudo, o modo como são utilizados e gerenciados os recursos hídricos tem levado a um nível de degradação ambiental e a um risco de escassez de água que comprometem a qualidade de vida desta e das gerações

futuras. Segundo Ferreira e Cunha (2005), ao longo das últimas décadas, a degradação dos recursos hídricos se deu de diferentes formas. Na década de 1950, foi marcante a depleção de oxigênio; na década de 1960, a eutroficação; nos anos 1970, a poluição por metais pesados; nos 1980, o uso excessivo de micropoluentes orgânicos e pesticidas; nos 1990, a contaminação da água subterrânea; e a década de 2000 está sendo marcada pela escassez da água.

No contexto mais amplo das questões ambientais, o problema da preservação dos recursos hídricos assume, atualmente, papel preponderante. Elemento essencial ao ciclo da natureza e às atividades humanas, a água entra nesse milênio como um fator que estará no centro das discussões ambientais em todo o mundo.

Há poucas regiões no mundo ainda livres dos problemas escassez de água doce, degradação na qualidade da água e da poluição das fontes superficiais e subterrâneas. De acordo como a Agenda 21 (2000), os problemas mais graves que afetam a qualidade da água de rios e lagos decorrem, em ordem variável de importância, segundo as diferentes situações, de esgotos domésticos tratados de forma inadequada, de controles inadequados dos efluentes industriais, da perda e destruição das bacias de captação, da localização errônea de unidades industriais, do desmatamento, da agricultura migratória sem controle e de práticas agrícolas deficientes.

Nos últimos 60 anos, a população mundial duplicou, enquanto o consumo de água multiplicou-se por sete. Considerando que, da água existente no planeta, 97% são salgadas (mares e oceanos), e que 2% formam geleiras inacessíveis, resta apenas 1% de água doce, armazenada em lençóis subterrâneos, rios e lagos, distribuídos desigualmente pela Terra (LEITÃO, 2003).

A América Latina é uma das regiões com maior disponibilidade hídrica de água doce per capita do planeta, dispondo de 24.973 m<sup>3</sup>/hab.ano, valor muito superior à média mundial de 7055 m<sup>3</sup>/hab.ano (ONU, 1997).

O Brasil detém cerca de 13% dos recursos hídricos superficiais disponíveis no planeta, no entanto, a sua distribuição no território do país não é equilibrada (LEITÃO, 2003). Em geral, onde há maior disponibilidade de água há uma menor densidade populacional, ao passo que próximo aos grandes centros urbanos a disponibilidade, que já não era grande, está reduzindo a cada dia. Ainda segundo este autor, a grande diversidade da distribuição dos recursos hídricos no território brasileiro reflete nas desigualdades regionais tendo conseqüências nas carências dos serviços de saneamento básico no país. As bacias com menor densidade populacional, como é o caso das bacias Amazônica, do Tocantins, do Parnaíba e a

do Paraguai possuem 83% dos recursos hídricos disponíveis no país. Por sua vez, as regiões mais densamente urbanizadas situam-se nas bacias dos rios Paraná e Costeiras do Sul e Sudeste, as quais possuem somente 12% dos recursos hídricos, ao mesmo tempo em que possuem 54% do total da população brasileira.

O entendimento do recurso natural água como um bem econômico e finito deve fazer com que todos os atores a utilizem de forma a maximizar o bem-estar social, seja produzindo com a máxima eficiência, seja consumindo sem desperdícios. O planeta Terra é finito; e, nesse sentido, há limitações para o crescimento populacional, principalmente no ritmo atual, de mais de 1,5% ao ano (o que representa quase 100 milhões de pessoas todos os anos). Os dados disponíveis mostram que, até 2025, mais de 3 bilhões de pessoas se somarão aos atuais 7 bilhões, o que agravará os problemas ambientais no contexto das cidades e representará um grande desafio para os gestores urbanos (FERREIRA e CUNHA, 2005).

Agrega-se a isso o fato de que 1,7 bilhão de pessoas, ou um terço da população do mundo em desenvolvimento, vivem em países que enfrentam tensão quanto ao suprimento de água (ou seja, consomem mais de 20% da sua oferta de água renovável a cada ano). Se as tendências atuais persistirem, esse número pode chegar a 5 bilhões até 2025. O acesso limitado à água enfraquece as perspectivas de desenvolvimento de muitos países, e os conflitos causados pela utilização e distribuição da água são uma causa potencial de disputas internacionais (TUCCI et al., 2000).

Estima-se que, no início deste século, mais da metade da população mundial viverá em zonas urbanas. Até o ano 2025, essa proporção chegará aos 60%, compreendendo cerca de 5 bilhões de pessoas. O crescimento rápido da população urbana e da industrialização está submetendo a graves pressões os recursos hídricos e a capacidade de proteção ambiental de muitas cidades. Uma alta proporção de grandes aglomerações urbanas está localizada em torno de estuários e em zonas costeiras. Essa situação leva à poluição pela descarga de resíduos municipais e industriais combinada com a exploração excessiva dos recursos hídricos disponíveis, ameaçando o meio ambiente marinho e o abastecimento de água doce (ONU, 1997).

Para Tucci et al. (2003), cerca de 80% da população brasileira vive em áreas urbanas, chegando este número em alguns Estados a se aproximar de 90%. Essa grande concentração populacional tem gerado vários conflitos e problemas como a degradação dos mananciais de água, enchentes urbanas, poluição química e orgânica das áreas de abastecimento da água para as populações, entre outros (TUCCI, et al., 2003).

Para Falkenmark (1991), o déficit de água, produto da modificação ambiental cujo processo encontra-se acelerado, atinge a humanidade não somente pela escassez de água para consumo humano, mas também por doenças e queda de produção de alimentos.

A Agenda 21, no capítulo 18 da seção II - Conservação e Gestão dos Recursos para o Desenvolvimento (CNUMAD, 1992), propõe, entre outros, os seguintes objetivos que devem ser perseguidos para obter o manejo integrado dos recursos hídricos no âmbito das bacias ou sub-bacias hidrográficas integrando aspectos relacionados à terra e à água:

(b) Fazer planos para a utilização, proteção, conservação e manejo sustentável e racional de recursos hídricos baseados nas necessidades e prioridades da comunidade, dentro do quadro da política nacional de desenvolvimento econômico;

(c) Traçar, implementar e avaliar projetos e programas que sejam economicamente eficientes e socialmente adequados, no âmbito de estratégias definidas com clareza, baseadas numa abordagem que inclua ampla participação pública, inclusive da mulher, da juventude, das populações indígenas e das comunidades locais, no estabelecimento de políticas e nas tomadas de decisão do manejo hídrico; [...]

Como foi dito anteriormente, a água é um recurso peculiar, não somente pela sua amplitude de utilização, mas também por ser um excelente indicador ambiental da qualidade da manipulação do solo pelo homem (TONELLO, 2005). As águas dos cursos que drenam uma região apresentam características físico-químicas próprias, que refletem as atividades do solo da respectiva bacia hidrográfica.

As bacias hidrográficas constituem as unidades naturais para informações hidrológicas, podendo também ser usadas como unidades naturais de manejo da terra, pois nelas observa-se a dependência de todos os componentes do crescimento e desenvolvimento da sociedade.

O termo bacia hidrográfica pode ser definido como a área de captação natural da água da chuva, drenada por ravinas, canais e tributários, para um curso d'água principal. Para Silva, 2003 bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água, sendo drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes.

A bacia hidrográfica é ainda delimitada por dois tipos de divisores de águas: divisor freático e divisor topográfico. O divisor freático é, em geral, determinado pela estrutura geológica dos terrenos, sendo influenciado pela topografia, estabelecendo os limites dos reservatórios de água subterrânea, de onde é derivado o deflúvio básico da bacia. Já o divisor topográfico consiste na linha imaginária que acompanha as maiores altitudes locais e topos de morros, separando uma bacia da outra.

Para Tonello (2005) a bacia hidrográfica deve ser considerada como uma unidade quando se deseja a preservação dos recursos hídricos, já que as atividades desenvolvidas no seu interior têm influência sobre a quantidade e qualidade da água. Constitui-se na mais adequada unidade de planejamento para o uso e exploração dos recursos naturais, pois seus limites são imutáveis dentro do horizonte de planejamento humano, o que facilita o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem na área. Assim, o disciplinamento do uso e da ocupação dos solos da bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram.

O manejo de bacias hidrográficas corresponde ao processo que permite formular um conjunto integrado de ações sobre o meio ambiente, a estrutura social, econômica, institucional e legal de uma bacia, a fim de promover a conservação e utilização sustentável dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável. (TONELLO, 2005).

Desta forma, a gestão de recursos hídricos pode ser entendida como o meio pelo qual se pretende mensurar e resolver as questões de escassez relativa dos recursos hídricos, bem como fazer o uso adequado, com vistas à otimização desses recursos em benefício da sociedade. Para (SETTI et al., 2001 apud GONÇALVES, 2007), uma eficiente gestão de águas deve ser constituída por uma política que estabeleça as diretrizes gerais, um modelo de gerenciamento que defina a organização legal e institucional e um sistema de gerenciamento que reúna os instrumentos para o preparo e a execução do planejamento de uso, controle e proteção das águas.

No Brasil, os avanços mais importantes com relação às preocupações relativas à água ocorreram principalmente no aspecto normativo, por meio de legislações específicas para o setor, tanto no âmbito federal como dos Estados. No entanto, a implantação de tal legislação e os mecanismos necessários à sua execução, apesar de significativos avanços como a criação de comitês de bacia hidrográfica, em grande parte do país, e da criação Agência Nacional de Águas (ANA), órgão nacional regulador do setor, ainda estão sendo desenvolvidos (TUCCI, 2004).

### 2.2.1. Aspectos legais da gestão das águas

Atualmente, diferentes fóruns internacionais discutem as formas de preservação e utilização dos recursos hídricos. Nesse caminho, o Brasil dá os primeiros passos para a concretização da utilização racional desse recurso, em oposição à falta de planejamento que até então marcou seu uso em território nacional.

Embora ainda seja considerado um texto exemplar na doutrina jurídica brasileira, o Código das Águas, de 1934, requeria avanços conceituais e instrumentação jurídica de gestão, relativos à preservação e utilização dos recursos hídricos. Isso porque esses recursos não apenas se tornaram mais escassos considerando-se a relação oferta/demanda, principalmente nas áreas mais povoadas, como também por sua qualidade ter se deteriorado, em função da poluição, além de terem se exacerbado os conflitos de interesse por sua utilização.

Uma modificação importante em relação ao Código das Águas, foi introduzida pela Constituição de 1988, que extinguiu o conceito de domínio privado da água, ainda considerado como possível, em alguns casos, por aquele diploma legal.

A partir da Constituição Federal de 1988, todos os corpos d'água, passaram a ser de domínio público, sendo de domínio da União os rios e lagos que banham mais de um Estado, ou que servem de fronteira para o território nacional ou entre dois Estados. São de domínio dos Estados, os corpos d'água completamente inseridos em seus territórios.

No entanto o mais importante avanço em relação ao Código das Águas foi dado pela Lei nº 9.433, de 08/01/97, que introduz princípios e instrumentos de planejamento e gestão para a utilização dos recursos hídricos em território nacional.

Dentre esses princípios e instrumentos, chama-se atenção para os seguintes:

- a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento;
- o uso múltiplo da água;
- a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos;
- a elaboração de Planos de Recursos Hídricos, como elementos programáticos de planejamento para as bacias hidrográficas;
- a outorga do direito de uso e cobrança pelo uso da água;
- o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (órgão superior de Sistema Nacional de Recursos Hídricos), os Comitês de Bacias e as Agências de Água (órgãos gestores dos recursos hídricos no âmbito de cada bacia, que contam com a participação dos governos estaduais e/ou federal, além da sociedade civil organizada);
- o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, cujo objetivo é organizar e difundir a base de dados a respeito das bacias hidrográficas e seus respectivos recursos hídricos.

Deve-se ainda considerar, como importante passo no sentido do gerenciamento da utilização da água em território brasileiro, a aprovação da Lei nº 9.984, de 17/07/01, que criou a Agência Nacional de Águas – ANA, à qual caberá implantar a Política Nacional de

Recursos Hídricos, além de estabelecer, para os rios federais, os princípios e instrumentos de planejamento e gestão instituídos pela Lei nº 9.433/97.

A primeira legislação descentralizadora sobre a gestão de recursos hídricos do Brasil foi implantada pelo Estado de São Paulo em 1991, portanto, anterior à Lei Federal 9.433 de 1997. Observa-se que a condução dos sistemas de gestão de recursos hídricos no país, na direção de uma maior participação dos usuários, sociedade civil e órgãos governamentais nas decisões já completa mais de duas décadas (CARRERA-FERNANDEZ, 2002). No entanto, da teoria para a prática o caminho é longo e difícil. Atualmente ainda se observam grandes dificuldades na implantação de um sistema mais descentralizado de gestão. Apenas a legislação não é suficiente para garantir a execução do modelo proposto, pois há muitas variáveis influenciando na sua prática. Mesmo com a criação ou as reformas das legislações Estaduais e Distrital sobre recursos hídricos baseadas na legislação federal, há ainda muitas diferenças e peculiaridades entre as bacias hidrográficas ao longo dos diferentes territórios de um Estado ou no Distrito Federal.

Dentre essas peculiaridades vale ressaltar as diversas condições ecológicas, socioeconômicas e políticas, o que pode propiciar uma maior velocidade de implantação do modelo institucional de gestão em algumas bacias em relação a outras, ou a criação de comitês mais representativos dos interesses públicos e privados em relação à água em determinadas bacias. Destacamos ainda, a existência de comitês de bacias hidrográficas ou organismos de gestão mais pragmáticos em diferentes bacias, com diferentes capacidades de resolução de seus problemas.

Considerando essas diferenças e dificuldades, constata-se que, apesar de grande parte dos autores concordarem que estamos seguindo um caminho promissor na gestão das águas, ainda há muito que se progredir para que os comitês de bacia exerçam de fato o papel que lhes é determinado na legislação Federal, Estadual e Distrital.

Um exemplo dessa necessidade de progresso, segundo Ramos (2005) é a freqüências de ingerências políticas ou interferência de organismos centrais e centralizadores na definição de políticas para determinadas bacias do país. Sendo assim, constata-se que a aplicação da legislação, por si só, não é garantia de sustentabilidade tanto do sistema nacional de gestão de recursos hídricos, como do sistema de exploração desses recursos.

É necessário evoluir para além da legislação, buscando modelos locais de gestão que abordem a sustentabilidade, não somente do sistema nacional, mas também dos recursos hídricos e dos recursos naturais como um todo, envolvendo-se todo o ambiente do qual o homem também é integrante, considerando-se a sustentabilidade ambiental, política e

socioeconômica de cada local. (RAMOS, 2005). A constituição do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas proposto nesse estudo almeja contribuir nesse contexto.

### 2.3. INDICADORES

Indicadores são instrumentos de investigação que buscam representar uma realidade complexa mediante números simples e objetivos. O termo vem do latim *indicare* (apontar, descobrir, anunciar, estimar). Para Benetti (2006) cada indicador tem vantagens e desvantagens, mas o mais relevante é que os indicadores constituem-se em um importante parâmetro para orientar a gestão e o planejamento de políticas e ações que podem ser desenvolvidas para aprofundar o comprometimento com as metas estabelecidas.

O IBGE (2002) conceitua indicadores como ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, associadas através de diversas formas, revelam significados mais amplos sobre os fenômenos a que se referem. De acordo com Fernandes (2004), a tarefa básica de um indicador é “expressar, da forma mais simples possível, uma determinada situação que se deseja avaliar, sendo que o resultado de um indicador é uma fotografia de dado momento, e demonstra, sob uma base de medida, aquilo que está sendo feito, ou o que se projeta para ser feito”. Um indicador é apenas uma medida, não um instrumento de previsão ou uma medida estatística definitiva, tampouco uma evidência de causalidade, indicadores apenas constatarem uma dada situação.

Segundo Turnes (2004), a partir de levantamento efetuado junto a diversos autores nacionais e internacionais, a utilização de indicadores para avaliar a dinâmica de um sistema complexo (ambiente, organização, território etc.) deve levar em conta os objetivos essenciais para os quais eles foram concebidos. Para esse autor os indicadores constituem um modelo da realidade, uma forma de representá-la, mas não são a própria realidade

Segundo Benetti (2006) indicadores são ferramentas úteis para a identificação das questões prioritárias de qualquer local, servindo não só como subsídio para a formulação de políticas públicas, mas como parâmetro de orientação e fortalecimento da ação de fiscalização dessas políticas.

Por outro lado, não devemos esquecer que ainda não existe nenhum tipo de medida que possa descrever precisamente todos os aspectos, estrutura e dinâmica de questões relacionadas ao meio ambiente. Para Benetti (2006) a utilização de indicadores e índices vem sendo alvo

de controvérsia nos fóruns técnico/científicos, devido às simplificações que são efetuadas na aplicação destas metodologias.

A escolha ou a utilização de indicadores exige, muitas vezes, a diferenciação de seus níveis de importância ou a sua ponderação visando sinalizar seus graus de prioridades para os objetivos estabelecidos (MAGALHÃES-JÚNIOR et. al., 2003).

Para Van Bellen (2005), os indicadores mais desejados são aqueles que resumam ou, simplifiquem as informações relevantes, fazendo com que certos fenômenos que ocorrem na realidade se tornem mais aparentes, para facilitar o processo de gestão ambiental. Assim, num movimento contínuo de agregação de informação, da base para o topo de uma pirâmide, temos: os dados primários de diferentes temáticas passando por um processo de análise, gerando variáveis (dados analisados), e aquelas que conseguem agregar e quantificar informações mais significativas formam os indicadores, cuja integração final origina os índices. A figura 01, abaixo ilustra esse processo:

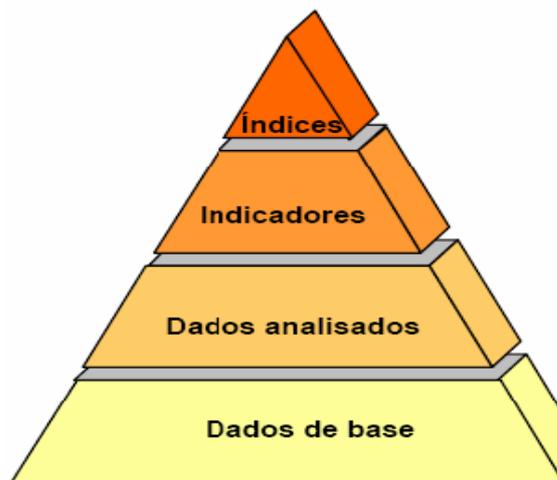


Figura 01. Pirâmide de formação dos índices

Fonte: Castanheira & Taborda, 2006.

### 2.3.1. Indicadores Ambientais e de Sustentabilidade

Segundo o Instituto Ethos (2002), “a sustentabilidade só pode ser alcançada por meio de um equilíbrio nas complexas relações atuais entre necessidades econômicas, ambientais e sociais que não comprometa o desenvolvimento futuro”. Portanto, os indicadores de desenvolvimento são instrumentos essenciais para guiar e subsidiar o acompanhamento e a avaliação de um progresso voltado ao futuro. São uma importante ferramenta que possibilita compreender a complexidade e os movimentos de transformação dos sistemas urbanos, tornar

a informação acessível à sociedade, prever os rumos do crescimento e nortear ações empreendedoras de desenvolvimento sustentável (BITTENCOURT, 2006).

O desenvolvimento sustentável ocorre a partir da existência e interações dos agentes que conformam uma sociedade composta por organizações, indivíduos e o Estado. Para Bittencourt (2006) a operacionalização do desenvolvimento sustentável é o grande desafio civilizatório desta época. Segundo Lima (2002) o desafio parece ainda maior ou impossível se nos perguntarmos “de que modo concretizar uma sustentabilidade num contexto social hegemônico pelo mercado”. Segundo a Agenda 21 Global (1997), existe a necessidade de se criar novos conceitos de riqueza e prosperidade capazes de permitir melhorias na vida humana, por meio de modificações no estilo de vida, que sejam menos dependentes dos recursos finitos da Terra. Uma ferramenta básica para a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável consiste no estabelecimento de objetivos e indicadores que possam dar a medida de quanto um território está se aproximando ou se distanciando de um cenário futuro previamente estabelecido.

Para vários autores, o processo de implementação do desenvolvimento sustentável tem início com a realização de uma caracterização geral do espaço que será analisado, de acordo com a escala geográfica considerada. Esta ação deve ser precedida da identificação dos aspectos que têm relevância para o problema em questão. A partir destes aspectos, são estabelecidas as ferramentas de avaliação das condições desses elementos: os indicadores.

Alguns estudos têm mostrado que muitas das metodologias utilizadas em trabalhos de desenvolvimento sustentável apresentam resultados satisfatórios no que se relaciona à definição das agendas locais, mas deixam a desejar no que tange ao acompanhamento do processo de implementação das mesmas pelos próprios atores. Desta forma, muitos dos programas desencadeados esgotam-se pela incapacidade dos protagonistas de avaliarem claramente os seus efeitos concretos. Salvo exceções, estes programas acabam esvaziados e a população fica frustrada.

Sendo assim, a construção do desenvolvimento sustentável se depara, dentre outros desafios com a difícil tarefa de criação de instrumentos de mensuração, tais como indicadores de desenvolvimento. Essas ferramentas são fundamentais como subsídios ao processo de viabilização do desenvolvimento sustentável e devem ser selecionadas criteriosamente segundo as diferentes necessidades permitindo sua integração nas diversas políticas setoriais (FGV, 2000).

Segundo Silva (2000), o uso destes indicadores foi fortemente potencializado em função do processo de expansão urbana e seus respectivos impactos ao meio ambiente, provocados

pela apropriação indevida dos espaços e recursos. A autora também menciona que a prática de análise e avaliações através de indicadores não é recente, sendo realizada há muitas décadas, principalmente no que se refere a indicadores e índices econômicos, como por exemplo, o PIB (Produto Interno Bruto). Tais informações, no entanto, representam visões isoladas e insuficientes para uma apreensão mais completa das distintas relações que compõe a dinâmica da realidade. Os indicadores são instrumentos usados para revelar a ausência ou a presença de boas condições sociais, ambientais, de saúde, econômicas, dentre outras. Já os indicadores do desenvolvimento sustentável são utilizados para verificar a velocidade com a qual as atividades humanas pressionam os recursos naturais através das cidades, do consumo, da destinação do lixo, da necessidade de transporte, dos processos industriais e do uso do espaço (SILVA, 2002).

Indicadores também são essenciais para guiar a ação e subsidiar o acompanhamento e a avaliação do progresso alcançado rumo ao desenvolvimento sustentável (IBGE, 2002). Como o desenvolvimento sustentável está em um processo em construção, a formulação de indicadores de sustentabilidade segundo IBGE (2002) também é um trabalho em aberto. Um indicador pode ser entendido como uma variável de representação operacional de um atributo (qualidade, característica, propriedade) de um sistema. No contexto ambiental o indicador é constituído por um conjunto de parâmetros representativos, de preferência concisos e fáceis de interpretar, utilizados para ilustrar as principais características ambientais de uma determinada região.

A avaliação das ações de desenvolvimento é um pré-requisito para a obtenção da sustentabilidade em um determinado território, constituindo-se em um elemento chave para a formulação de políticas e a tomada de decisões. Em função disso, têm surgido uma série de iniciativas que propõem a adoção de indicadores de sustentabilidade nas diversas áreas relacionadas ao desenvolvimento das sociedades. Desta forma, a utilização de indicadores vem ganhando um peso crescente nas metodologias utilizadas para resumir a informação de caráter técnico e científico na forma original ou "bruta", permitindo transmiti-la numa forma sintética, preservando o essencial dos dados originais e utilizando apenas as variáveis que melhor servem aos objetivos e não todas as que podem ser medidas ou analisadas. A informação é assim mais facilmente utilizável por decisores, gestores, políticos, grupos de interesse ou público em geral (SCHMIDT et al., 1998 apud BENETTI, 2006).

Para mensurar o grau de sustentabilidade, é fundamental que os tomadores de decisão possuam acesso a bons indicadores. Além de transmitir informações relevantes e coerentes a respeito da sustentabilidade, um bom indicador ambiental também deve ser capaz de alertar

para um problema antes que este se agrave, isto é, de atuar com proatividade, pois assim é concedido um tempo mínimo para mudar a trajetória do problema que pode surgir (SATO, 2005).

Van Bellen (2002) em sua pesquisa sobre análise da sustentabilidade, verificou que existem inúmeras ferramentas ou sistemas que buscam mensurar o grau de sustentabilidade do desenvolvimento. No entanto, são pouco conhecidas suas características técnicas e práticas. Van Bellen (2002) destaca os três sistemas de indicadores de sustentabilidade mais reconhecidos internacionalmente, selecionados pelos mais variados especialistas da área ambiental, que lidam com o conceito de desenvolvimento sustentável: Pegada ecológica (*Ecological Footprint Method*), Painel de Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*) e o Barômetro de Sustentabilidade (*Barometer of Sustainability*).

### Pegada Ecológica

A pegada ecológica é definida como a área de ecossistema necessária para assegurar a sobrevivência de uma determinada população ou sistema. Esse indicador fundamenta-se basicamente no conceito de capacidade de carga de um sistema, considerando que a carga imposta por uma população varia em função de diversos fatores como: receita média, expectativas materiais, nível de tecnologia, entre outros. Ou seja, a capacidade de carga imposta a um sistema é função tanto de aspectos culturais como ecológicos.

O cálculo do indicador é baseado na idéia de que para cada item de matéria ou energia consumida pela sociedade existe uma certa área de terra, que é necessária para fornecer os recursos e absorver os dejetos. Portanto, a pegada ecológica constitui uma forma de medir o impacto humano na Terra, através da área produtiva equivalente de terra e mar necessária para produzir os recursos utilizados e para assimilar os resíduos gerados por uma dada unidade de população.

Na perspectiva dos autores da Pegada Ecológica é quase que consenso o fato de que o ecossistema terrestre não é capaz de sustentar indefinitivamente o nível de consumo de matéria prima imposto pelo modelo de desenvolvimento atual. Nesse sentido, a Pegada Ecológica nos possibilita relacionar a apropriação do espaço com a superfície biologicamente produtiva da Terra, oferecendo clareza quanto aos limites da expansão humana e dos seus níveis de consumo.

A Pegada Ecológica também suscita algumas críticas, como o caráter pouco científico do método. No entanto ele se mostra muito eficiente na captura da esfera ambiental da

sustentabilidade que é afetada pela atividade econômica humana, porém para Bossel (1999), o indicador não atua na dimensão social da sustentabilidade.

### Barômetro da Sustentabilidade

O Barômetro da Sustentabilidade é uma ferramenta de combinação de indicadores que mostra seus resultados por meio de índices. Estes índices são apresentados através de uma representação gráfica, procurando facilitar a compreensão e dar um quadro geral do estado do meio ambiente e da sociedade. A representação pode apresentar a dimensão principal de cada índice para realçar aspectos de desempenho que mereçam mais atenção, sendo adequada também para comparações entre diferentes avaliações. (VAN BELLEN, 2002)

Outra característica dessa ferramenta é sua leitura integrada, ou seja, a relação entre o bem-estar social e o bem-estar do ecossistema é perceptível enquanto fator não distanciado. Portanto, essa aproximação faz com que a combinação seja medida com transparência, não ofuscando o declínio ou o crescimento de um determinado índice para o resultado final.

O método de avaliação é importante, porque aproxima comunidades, países e a iniciativa privada pelo fornecimento de dados de forma sistemática e clara. Para isso, devem ser consideradas: as características principais do ser humano e do bem-estar do ecossistema a ser medido; a escolha dos indicadores mais representativos daquelas características; a combinação dos indicadores entre os índices de bem-estar humano e de bem-estar do ecossistema, bem como entre os índices de bem-estar (geral) e estresse ao meio ambiente (relação entre os índices de bem-estar humano e do ecossistema). Esses fatores permitem uma medida de desenvolvimento sustentável, quando somados a um jogo detalhado de indicadores, além de conservar índices de outros países em prol de resultados verídicos.

### Painel de Sustentabilidade

O Painel de Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*) é considerado por Hardi e Semple (2000), uma importante ferramenta para auxiliar os tomadores de decisão, públicos e privados, a repensar suas estratégias de desenvolvimento. Conceitualmente, o Dashboard of Sustainability consiste em um índice agregado de vários indicadores divididos em dimensões denominadas de performance da economia, saúde social e qualidade ambiental.

Cada um dos indicadores dentro dos escopos ou dimensões da sustentabilidade propostos pelo sistema, pode ser avaliado tanto em termos de sustentabilidade como no nível

do processo decisório a partir de dois elementos principais: importância e performance. O agrupamento dos indicadores dentro de cada um dos escopos fornece a resultante ou o índice relativo desta dimensão

O painel de sustentabilidade é considerado uma ferramenta fundamental de comunicação, servindo de guia para os tomadores de decisão e para o público em geral. O sistema emprega meios visuais de apresentação para mostrar as dimensões primárias da sustentabilidade, fornecendo informações quantitativas e qualitativas sobre o progresso em direção à sustentabilidade (VAN BELLEN, 2003).

Um fator considerado como vantajoso dessa ferramenta, além do seu valor didático, refere-se a sua praticidade e efetividade, principalmente por medir a sustentabilidade a partir de suas dimensões. Como contraponto, observa-se que a leitura da sustentabilidade por dimensões pode comprometer o princípio de da visão holística e integrada da sustentabilidade do desenvolvimento.

Outras iniciativas internacionais de agregação de indicadores e indicadores de desenvolvimento sustentável são listadas a seguir (Van Bellen, 2006; Castanheira & Taborda, 2006, Magalhães-Junior, 2007):

- *Human Development Index* – HDI (Índice de Desenvolvimento Humano – IDH): desenvolvido pelo PNUD (1990), toma como base três elementos: escolaridade (taxas de alfabetização de adultos e de escolarização bruta combinada), expectativa de vida (esperança de vida ao nascer) e renda (PIB per capita);
- *Environmental Sustainability Index* – ESI (Índice de Sustentabilidade Ambiental – ISA): lançado pelas Universidades de Yale e Columbia durante o Fórum Econômico Mundial realizado em 2002, faz uma medida do desempenho ambiental, social e institucional de uma esfera de análise, mediante a integração de 76 variáveis em 21 indicadores;
- *Index of Sustainable Economic Welfare* – ISEW (Índice de Bem-Estar Econômico Sustentável): desenvolvido por Daly & Cobb (1989), ajusta as contas tradicionais com subtrações de influências negativas (despesas públicas defensivas, desigualdade econômica, custos de degradação ambiental, depreciação do capital natural) e adições de influências positivas (despesas não-defensivas, formação de capital, trabalho doméstico);
- *Genuine Progress Indicator* – GPI (Indicador de Progresso Genuíno – IPG): semelhante ao anterior, lançado em 1997 pelo Australia Institute, relaciona a

economia com variáveis sociais e ambientais, incorporando o capital humano, social e natural, além de atribuir valor a saúde humana, realização educacional, segurança da comunidade, trabalho voluntário e qualidade ambiental;

- *Living Planet Index* – LPI (Índice do Planeta Vivo – IPV): lançado pelo WWF em 1999, mede a tendência da diversidade biológica da Terra mediante a produção de índices separados de espécies terrestres, marinhas e de água doce, que são então ponderados e dão origem a um índice agregado;
- *City Development Index* – CDI (Índice de Desenvolvimento das Cidades – IDC): desenvolvido em 1997 pelo Programa de Indicadores Urbanos das Nações Unidas como um protótipo para o Habitat II, é uma medida, ao nível da cidade, do bem-estar médio e da acessibilidade dos indivíduos aos equipamentos urbanos, a partir de cinco sub-índices: infra-estrutura, tratamento de esgoto e disposição de resíduos sólidos, saúde, educação e produção;
- *Environmental Policy Performance Indicator* – EPPI (Indicador de Desempenho Ambiental de Políticas Públicas): originário da Holanda, monitora as tendências da pressão ambiental naquele país desde 1980, a partir de seis indicadores compostos: mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, dispersão de substâncias tóxicas, disposição de rejeitos sólidos e incômodos de odor e barulho;
- *Total Material Consumption* – TMC & *Total Material Input* – TMI (transporte e fluxo de material, e recursos e energia): lançados pelo Wuppertal Institute para a economia alemã, com propósito ambiental, mas metodologia econômica, fornecem uma ligação entre o consumo de materiais e seus impactos na natureza;
- *System of Integrated Environmental and Economic Accounting* – SEEA (Sistema de Contabilidade Integrada Ambiental e Econômica): sistema “paralelo” lançado pela Divisão de Estatística da ONU para cobrir a deficiência dos sistemas tradicionais de contas mediante a agregação da contabilidade ambiental;
- *Monitoring Environmental Progress* – MEP (Monitorando o Progresso Ambiental): desenvolvido pelo Banco Mundial, com base na idéia de que a sustentabilidade é medida por uma riqueza per capita não decrescente, incorporando aos balanços os recursos humanos e a infra-estrutura social.

Para Benetti (2006), esses indicadores de desenvolvimento sustentável devem ser capazes de mensurar o fenômeno político, tratar a questão ambiental realçando a propriedade do ecossistema local e não ignorar os fatos sociais e econômicos pertinentes ao

desenvolvimento humano. Tais indicadores devem subsidiar opções estratégicas na definição de políticas e funcionar como instrumentos de apoio à governabilidade de uma determinada região.

Turnes (2004) enumera algumas vantagens e limitações da aplicação de indicadores e indicadores de desenvolvimento sustentável. Entre as vantagens, destaca-se: avaliação dos níveis de desenvolvimento sustentável; capacidade de sintetizar a informação de caráter técnico/científico; identificação das variáveis-chave do sistema; facilidade de transmissão da informação; uso como instrumento de apoio à decisão e aos processos de gestão ambiental; possibilidade de identificação de tendências; e comparação com padrões ou metas pré-definidas.

Entre as limitações incluem-se: inexistência de informações básicas; dificuldade na definição de expressões matemáticas que melhor traduzam os parâmetros selecionados; perda de informações vitais nos processos de agregação dos dados; medição do que é mensurável, ao invés do que é de fato; correta interpretação das medidas; diferentes critérios na definição dos limites de variação do índice em relação às imposições estabelecidas; ausência de critérios robustos para seleção de alguns indicadores; limites humanos, financeiros e de tempo; e dificuldade de aplicação em certas áreas, como ordenamento territorial e paisagem.

Segundo Gomes (2000) os indicadores e índices apresentam uma variada gama de aplicações, tais como:

- Avaliação de recursos - suporte de decisões, ajudando os decisores ou gestores na atribuição de fundos, alocação de recursos naturais e determinação de prioridades;
- Classificação de locais - comparação de condições em diferentes locais ou áreas geográficas;
- Cumprimento de normas legais - aplicação a áreas específicas para clarificar e sintetizar a informação sobre o nível de cumprimento das normas ou critérios legais;
- Análise de tendências - aplicação a séries de dados para detectar tendências no tempo e no espaço;
- Informação ao público - informação ao público sobre os processos de desenvolvimento sustentável;
- Investigação científica - aplicações em desenvolvimentos científicos servindo de alerta para a necessidade de investigação científica mais detalhada.

Para Meadows (1998), os indicadores são parte de um sistema de informação sobre o desenvolvimento sustentável, que deve coletar e gerenciar informações e fornecê-las para a avaliação. Meadows (1998) considera ainda que para informar sobre a sustentabilidade de um sistema, não se necessita apenas de indicadores, mas de sistemas de informações coerentes e adequados, dos quais os indicadores podem ser derivados. Nesse sentido, trabalhos como o de Meadows (1998), Miranda e Teixeira (2004) entre outros, sugerem algumas características que os indicadores devem possuir:

- acessibilidade dos dados, para facilidade o acesso dos dados referentes ao indicador;
- clareza na comunicação, para permitir uma rápida compreensão e aceitação do indicador pelos usuários;
- relevância, ou seja o indicador deve refletir algo básico e fundamental para descrever o fenômeno monitorado;
- amplitude geográfica para ser sensível à mudança no espaço;
- padronização, para aumentar a possibilidade de comparar uma realidade com as demais;
- preditividade, para possibilitar ao tomador de decisão conhecimento antecipado dos problemas, facilitando a construção das soluções, bem como ajudando a identificar tendências e ações relevantes, para avaliar o progresso em direção a um objetivo;
- pró-atividade, mostrando o que vem dando certo de forma a motivar a continuidade do monitoramento;
- sensibilidade temporal, ou seja, o indicador deve demonstrar mudanças e tendências ao longo do tempo;
- definição de metas, o indicador deve permitir o estabelecimento de metas a serem alcançadas;
- confiabilidade da fonte, o indicador deve possuir uma ou mais fontes de dados de confiança;
- capacidade de síntese, para transmitir rapidamente uma informação, permitindo acesso aos detalhes, se necessário;
- mensuráveis, o indicador deve ser facilmente mensurável e passível de ser monitorizado regularmente a um custo não excessivo dentro de um custo razoável (factível);

- consistente, ou seja, o indicador deve ser bem apoiado em termos técnicos e científicos;
- hierárquicos, para que o usuário possa descer na pirâmide de informação se desejar, mas, ao mesmo tempo, transmitir a mensagem principal rapidamente;

### 2.3.2. Indicadores Ambientais de Recursos Hídricos

O gerenciamento dos recursos hídricos é um tema que ganhou expressão nos últimos anos, sobretudo devido à acelerada degradação dos ecossistemas aquáticos e terrestres. Gerenciar os recursos hídricos não é tarefa fácil, uma vez que envolve conflitos sociais, econômicos, políticos e ambientais. Segundo Canil (2006) há, portanto, a necessidade de um bom planejamento, com estabelecimento de estratégias, metas e a implementação de uma rotina de monitoramento das ações propostas para gestão das águas.

Em uma perspectiva holística é preciso reconhecer e avaliar o papel de todos os elementos que fazem parte do sistema de gestão. Em se tratando da análise da degradação dos mananciais, Canil (2006) sugere a adoção de indicadores de recursos hídricos, entendendo que estes são essenciais à observação e acompanhamento das mudanças ambientais e a análise dos resultados das intervenções no sistema de gerenciamento de bacias hidrográficas.

Para Tucci et al.(2003), a avaliação e o prognóstico do desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos de um país trata da integração dos componentes dos sistemas naturais com os socioeconômicos. O uso de indicadores na avaliação de impactos ambientais é um instrumento de política ambiental, formado por um conjunto de procedimentos capaz de assegurar, desde o início do processo, um exame sistemático dos impactos ambientais de uma ação proposta e de suas alternativas. Esta definição evidencia que a avaliação de impactos ambientais subsidia o processo de tomada de decisão e se atém à ação proposta a políticas, planos, programas e novas tecnologias. O ajuste estrutural da sustentabilidade da água e do ambiente exige critérios metodológicos analíticos que embasem e fundamentem o uso de indicadores ambientais (LUNDIN e MORRISON, 2002).

Na busca de estruturar um modelo de gestão sustentável dos recursos hídricos, os países ibero-americanos vêm, na última década, avançando em orientações político-filosóficas, instrumentos técnicos, marcos de regulamento, formações institucionais para a formulação, atualização e implementação de políticas públicas apropriadas para a gestão e para o uso social e ambiental sustentável dos recursos hídricos (FERREIRA e CUNHA, 2005).

Neste caminho, se elaborou o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, 2006) do Brasil aprovado em janeiro de 2006. O Plano teve como referência o estado da arte da questão hídrica no mundo, que recomenda a necessidade de mudanças para uma nova cultura hídrica que considere a multidimensionalidade do recurso água, no seu simbolismo místico e religioso e no seu valor ecológico, social, econômico, político e cultural.

Na estruturação do PNRH, foram realizadas oficinas e discussões técnicas para a compilação de indicadores ambientais e definição de indicadores apropriados à gestão dos recursos hídricos e uso eficiente da água. De acordo com o PNRH, os indicadores são ferramentas fundamentais que possibilitam estudos prospectivos, previsão de eventos aleatórios e redução dos riscos. Portanto, são elementos importantes de apoio ao processo de tomada de decisão. Os indicadores servem para diminuir as incertezas quanto ao futuro respeitando a complexidade e organização social envolvida na gestão da água.

Com base nestas premissas, o Plano Nacional de Recursos Hídricos apresenta as seguintes variáveis para a definição de indicadores sobre o tema (PNRH, 2006):

- qualidade da água superficial e subterrânea definida pelas condições físico-química e biológica adequadas para os usos múltiplos;
- quantidade da água superficial, definida pelo regime de caudais do rio;
- quantidade da água subterrânea, definida pelo regime de recarga e potencial de exploração;
- mudanças no regime natural dos mananciais de água por efeito de atividades antrópicas: impermeabilização do solo, canalização, dragagem, represas, diques, erosão, transposição de caudais, etc;
- eventos hidrológicos críticos caracterizados pelo excesso ou escassez hídrica (crescidas ou secas), frequência e intensidade de ocorrências;
- regime climático considerando a interação entre os elementos de clima (precipitação, temperatura, temperatura da superfície do mar, evaporação, regime de chuvas, sua frequência, intensidade e duração - variabilidade climática) e mudanças climáticas;
- caudal ecológico necessário para a manutenção dos ecossistemas, disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para a manutenção do biota associada;
- bio-invasão: introdução intencional ou acidental de organismos estranhos (macro ou microscópicos) em mananciais;

- conservação da biodiversidade: representa o estado de conservação dos biomas, a variação dos tipos de cobertura vegetal, considerando a permanência, superfície, a dimensão e distribuição dos territórios, a fauna e as práticas de uso dos recursos naturais associadas aos diferentes biomas;
- dinâmica de uso e ocupação do solo da bacia (urbanização, pecuária, agricultura, solos degradados e/ou afetados por processos de desertificação);
- estado de conservação dos sistemas estuarinos e a sua correlação com a gestão dos recursos hídricos, com o uso e ocupação do solo e as atividades antrópicas;
- mortalidade e invalidez causadas por doenças relacionadas com a qualidade da água;
- desenvolvimento humano (exclusão social, salário, longevidade, acesso a educação);
- saneamento ambiental (esgotos e resíduos sólidos de origem doméstica e/ou industrial);
- segurança hídrica, acesso da população à água segura;
- segurança alimentar e nutricional hídrica (hidroquímica e bacteriologia da água);
- diversidade social e respeito às particularidades culturais dos grupos sociais tradicionais, organizações sociais e suas influências na gestão dos recursos hídricos;
- nível de organização institucional da sociedade e sua consciência sobre os temas relacionados às questões hídricas e do ambiente.
- acesso público à informação de qualidade, de forma sistemática, estratégica para a tomada de decisões;
- avaliação do sistema de informação dos recursos hídricos das zonas homogêneas;
- a questão de gênero na gestão da água;
- dinâmica populacional;
- a função de demandas hídricas pelas múltiplas funções sociais e ambientais da água;
- o PIB – Produto interno bruto e o mercado da água;
- investimentos em infra-estruturas;
- eficiência e eficácia no uso da água;
- nível de planejamento atual por zona homogênea;
- processo de acesso à água;

- valoração econômica e o preço da água;
- zoneamento ecológico econômico;
- identificação e solução de conflitos;
- produção de conhecimentos e estímulo à educação para uma nova cultura da água.

Os indicadores constituem uma poderosa ferramenta no auxílio à tomada de decisão. No entanto, para sua determinação deve-se considerar não apenas a eficiência tecnológica das alternativas de uso da água, mas também os aspectos relacionados com os impactos ambientais (positivos e/ou negativos), os desdobramentos sociais e a componente econômica.

Os indicadores de recursos hídricos, segundo Magalhães-Junior (2007), deverão então atender aos seguintes critérios de sustentabilidade:

- Sustentabilidade Social: assegurar o acesso adequado das populações menos favorecidas à água com qualidade e quantidade para uso doméstico e agricultura;
- Sustentabilidade Econômica: assegurar o manejo e uso eficiente da água promovendo o desenvolvimento urbano e rural da região;
- Sustentabilidade Ambiental: assegurar a adequada proteção dos recursos naturais - solo, vegetação e água (sobretudo nascentes e aquíferos).

Os indicadores apresentados no PNRH incorporam estes elementos. Por outro lado, muitos indicadores adotados no Brasil ainda têm uma visão setorial tecnológica e não incorporam as componentes sociais, econômicas e ambientais.

Neste contexto, percebe-se que o Plano Nacional de Recursos Hídricos apresenta uma proposta norteadora inovadora, estabelecendo diretrizes e foco com ênfase na valoração social da água e suas relações com o conjunto, estoque e estado dos demais recursos naturais. Contribui para isto o fato deste documento haver sido recentemente elaborado, e, portanto, incorpora as principais bases filosóficas da nova cultura da água e da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos.

Para ONU (2006), o enfoque dos indicadores de referência para o uso sustentável da água deve identificar e valorar as ações sobre o ambiente que afetam o balanço hídrico local nos seus aspectos quantitativos, qualitativos e de acesso seguro a água

Segundo FGV (2000), os indicadores para a gestão de recursos hídricos devem possuir as seguintes características:

### Pertinência política e utilidade para os usuários

- deve representar de forma confiável as condições ou o estado do meio ambiente, as pressões, os impactos e as respostas;
- deve ser simples, fácil de interpretar e capaz de simular/prever tendências;
- deve refletir o estado do meio ambiente correlacionado com as ações antrópicas;
- deve servir de referência para comparação e validação na escala de trabalho definido (bacia, território nacional ou internacional);
- deve estar referenciado a um conjunto de valores de significado prático, acessível à compressão dos tomadores de decisão, gerentes e usuários da água;

### Exatidão e análise

- deve estar referenciado por fundamentos teóricos consistentes em termos científicos, técnicos, socioeconômicos e culturais;
- deve ser aceito por expertos nacionais e internacionais quanto a sua validade e aplicabilidade;
- pode reportar-se aos modelos econômicos e aos sistemas de previsão usados na tomada de decisões estratégicas.

### Mensurabilidade

- deve ser acessível, disponível e resultar de uma relação custo / benefício razoável;
- deve ter validade institucional e social;
- deve ser revisado e atualizado em intervalos regulares.

## 2.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS SIG'S COMO FERRAMENTA GESTÃO AMBIENTAL

No capítulo 35 (Ciência para o Desenvolvimento Sustentável) da Agenda 21 (ONU, 1997), é destacado o importante papel do Sensoriamento Remoto (SR) e dos Sistemas Informação Geográfica (SIG), como ferramentas para incrementar a eficiência na utilização de recursos e apontar para os caminhos viáveis para o desenvolvimento sustentável.

O comitê para o uso pacífico do espaço exterior, da ONU, enfatizou ainda a importância do SR para o desenvolvimento sustentável, assim como a necessidade da disponibilização de dados atualizados a custos acessíveis, para que os países em desenvolvimento possam utilizar adequadamente esta ferramenta (ONU, 1997).

Novo (1992) salienta que o sensoriamento remoto e os SIG's são potentes ferramentas para gestão territorial, especialmente no que diz respeito à caracterização das paisagens e na análise de escalas, padrões e processos relacionados com os fenômenos ambientais. Além disso, os recursos para processamento da informação têm se desenvolvido rapidamente, tornando-se cada vez mais acessíveis e baratos, havendo mesmo um grande número de "softwares", imagens de satélite e bases cartográficas digitais, que são distribuídos livremente.

Os SIG's contribuem para a construção do desenvolvimento sustentável, pois:

- Facilitam e agilizam o gerenciamento preciso das informações, subsidiando a tomada de decisões;
- Permitem a elaboração de prognósticos eficientes, facilitando a análise de impactos ambientais;
- Favorecem a gestão territorial democrática e participativa, através da disponibilização de informações à sociedade (especialmente se associados à internet); e
- Se ajustam ao planejamento interdisciplinar, à medida em que profissionais de diversas áreas podem trabalhar ao mesmo tempo sobre uma mesma base de dados, trocando as informações conforme elas vão sendo geradas.

O uso de técnicas de geoprocessamento, em que se incluem o sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica (SIG), constitui-se numa ferramenta de alto potencial para integração e análise de diferentes componentes de um sistema ambiental, permitindo a elaboração de zoneamentos e propostas de manejos específicos, com base no cruzamento de diferentes planos de informação espacial. A integração da tecnologia SIG com modelos

matemáticos de estimativa de perdas de solo por erosão vem sendo aplicada com eficiência no planejamento agro ambiental de microbacias hidrográficas, principalmente no diagnóstico do risco de erosão (CASTRO e VALÉRIO-FILHO, 1994; MORAES et al., 2000).

Burrough e Mcdonnell (1998), sugerem que a utilização de técnicas de geoprocessamento constitui-se em instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água.

Os Sistemas de Informações Geográficas, podem ser definidos como um conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de dados espaciais, visando a obtenção de informações que possibilitam uma análise sobre uma área ou um objeto de estudo. De acordo com Novo (1992), geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias relacionadas ao tratamento da informação espacial, que englobam técnicas de:

- Coleta de informação espacial: cartografia, sensoriamento remoto, sistema de Posicionamento Global por Satélite (G.P.S), topografia convencional, fotogrametria e levantamento de dados alfanuméricos;
- Armazenamento de informação espacial: banco de dados georreferenciados;
- Tratamento e análise da informação espacial: modelagem de dados, aritmética lógica, reclassificação, geoestatística, funções topológicas e análises de redes.

O SIG é um sistema capaz de armazenar, manipular, transformar, analisar e exibir informações georeferenciadas, contidas em mapas e/ou bancos de dados, gerando novas informações, que, por sua vez, auxiliarão o processo de tomada de decisões.

De uma maneira geral, um SIG pode atuar de forma eficiente no planejamento de todas as aplicações que fazem uso de mapas. Assim, todas as atividades que envolvem a coleta de dados sobre a superfície terrestre podem ser beneficiadas por um sistema dessa natureza, aumentando, por exemplo, a eficiência no manuseio de dados cartográficos, como também possibilitando a combinação de informações geográficas em uma grande variedade de formas (VALÉRIO-FILHO, 1994).

Segundo Forman (1995), um dos maiores desafios do planejamento do uso da terra é o que se refere ao uso sustentável do ambiente, baseado nas dimensões ambientais e humanas da paisagem e na consideração de intervalo temporal que abranja diferentes gerações humanas. Desta forma, a utilização de produtos de sensoriamento remoto, tais como, imagens e fotografias aéreas, associadas aos SIG's tornam-se de fundamental importância, uma vez que contribuem com a análise da dinâmica temporal da transformação de determinadas áreas, como o caso das bacias hidrográficas.

O monitoramento e a aquisição de dados contínuos proporcionam um controle sobre o comportamento das bacias hidrográficas e possibilitam o estabelecimento de instrumentos, como índices e indicadores, de medição da efetividade da gestão dessas áreas. O conjunto de dados adquiridos de determinada região requer ajustes constantes, e, para isso, os SIG's e os produtos de Sensoriamento Remoto são importantes ferramentas nas análises e no auxílio do armazenamento, utilização e atualização de dados espaciais.

Para Valério-Filho et al. (2003), as Geotecnologias, por meio de SIG's e do Sensoriamento Remoto vêm sendo utilizadas como importantes ferramentas, afim de subsidiar o planejamento, as análises e as ações em diversas áreas de aplicação do conhecimento.

Para Oliveira et al. (2007) quando se analisa uma bacia hidrográfica como unidade de observação e intervenção, pode-se deduzir que, para a elaboração e aplicação de um plano de gestão eficaz, deve-se obter o máximo de dados possíveis sobre a realidade pesquisada, e isso pode ser viabilizado e agilizado através dos instrumentais (Sensoriamento Remoto e SIG, respectivamente). Isso é possível, uma vez que estes, proporcionam a aquisição, a análise e a integração dos dados, gerando informações que conduzem ao entendimento e conexão dos fragmentos da realidade, permitindo assim uma aproximação do conjunto da realidade pesquisada.

Segundo Costa et al. (2005) uma alternativa para integrar variáveis relacionadas a sustentabilidade ambiental sem recorrer a experimentações complexas na construção de um modelo empírico gestão, é o emprego de um modelo de conhecimento de suporte a decisão. Um dos modelos consagrados são os índices e indicadores implementados com auxílio de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Taglani (2003) empregou a análise de multicritérios em ambiente de SIG, com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade de ambientes costeiros na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Como critérios este autor utilizou a declividade, a capacidade de uso do solo, a vegetação, os recursos hídricos e a idade dos terrenos. Para a ponderação dos critérios foram empregados o métodos simples e a combinação linear ponderada. Segundo o autor, essa metodologia, integrada ao SIG, é amplamente flexível e permite a inclusão de dados complementares ou a reavaliação das informações temáticas e critérios, a partir do qual se pode chegar a um consenso e a tomada de decisão.

Todos estes estudos têm como características básicas à interdisciplinaridade, decorrente da convicção de que não é possível compreender perfeitamente os fenômenos ambientais sem analisar todos os seus componentes e as relações entre eles, estes projetos buscam sempre

uma visão integrada da questão ambiental em conjunto com a questão social, ou pelo menos deveriam buscar esta visão.

#### 2.4.1. Geoprocessamento na análise do uso e ocupação do solo

Desde 1858, época na qual foram tiradas as primeiras fotografias aéreas, as técnicas de sensoriamento remoto têm evoluído com o objetivo de identificar na superfície do terreno os diversos componentes através da análise de imagens. Concomitantemente, com o advento da informática e de programas de sistemas de informação geográfica, o desenvolvimento computacional para as aplicações gráficas e de imagens e o campo de análise do ambiente evoluíram de maneira extraordinária, devido, principalmente, a carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos e ambientais.

De acordo com a FAO (1992), o sistema de informação geográfica teve sua origem no Canadá em 1964, e pode ser definido como sendo um banco de dados (conjunto de hardware e software) que integrados permitem adquirir, introduzir, armazenar, combinar, analisar, recuperar informações codificadas espacialmente para serem representadas em dados geográficos.

Malczewski (2006) coloca que a análise da adequação de uso da terra utilizando SIG, tem aplicação em diversas situações com viés ecológico como a determinação de habitat para espécies animais e vegetais; aptidão das terras para agricultura; avaliação e planejamento da paisagem; avaliação de impactos ambientais e planejamento regional. Para tanto, podem ser utilizadas três abordagens em ambiente de SIG, como: sobreposição de informações espaciais, inteligência artificial e método de avaliação por multicritérios. A análise de multicritérios é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada.

A integração entre os métodos de análise de índices e indicadores e os SIGs tem sido um avanço na metodologia de sobreposição de mapas para a determinação da adequação de uso da terra, sendo entendida como um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão.

Segundo Silva et al. (2003) as características naturais das bacias hidrográficas são importantes para a espacialização do gerenciamento de atividades de uso e conservação dos recursos naturais. Atualmente, a utilização de técnicas de geoprocessamento tem facilitado o estudo da perda de solo, fornecendo resultados mais seguros e permitindo a manipulação de

situações hipotéticas para a bacia em investigação. A modelagem de perda de solo em uma bacia hidrográfica constitui um bom indicador das potencialidades e restrições do uso do solo.

O sistema de sensoriamento remoto, com grande avanço e importância, é responsável pela coleta de uma infinidade de informações da superfície terrestre. Tem como objetivo obter um inventário e um manejo adequado dos recursos naturais da Terra, a qual é fotografada e/ou imageada pelos diversos sensores a bordo de aviões e satélites em órbita (GARCIA, 1982 e NOVO, 1992).

A perda de solos por erosão hídrica constitui-se em um sério problema em regiões com alta incidência de antropismo. Isto é devido fundamentalmente à substituição da vegetação natural que cobria o solo e lhe oferecia maior proteção do que a que lhe conferem em geral as culturas implantadas pelo homem. Ainda assim há solos que, devido à tolerância natural à perda, comportam distintas coberturas menos protetoras, sem apresentar diminuição apreciável na sua produtividade ao longo do tempo. Considera-se importante o conhecimento das áreas com distintos potenciais de perda do solo, para planificar o uso racional deste recurso, otimizando a distribuição das culturas, visando à maximização da produção sem comprometer os rendimentos futuros pela degradação do solo.

Para Valério-Filho (1994), as técnicas de geoprocessamento, incluindo sensoriamento remoto, são importantes ferramentas de geração e manipulação de grandes volumes de informações, visto que as mesmas reduzem consideravelmente o tempo de processamento em relação aos métodos tradicionais. Elas possibilitam a coleta e análise de informações temáticas e oferecem subsídios ao planejamento agrícola, ambiental, e de recursos hídricos.

O geoprocessamento foi fundamental neste trabalho tanto para análise temporal do uso e ocupação do solo, quanto para aplicação de um modelo de previsão de perdas de solo por erosão hídrica, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), desenvolvida por Wischmeier e Smith, (1978) e adaptada por Bertoni e Lombardi-Neto (1993).

### 3. CARACTERIZAÇÃO REGIONAL

#### 3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO DISTRITO FEDERAL

O crescimento populacional verificado nas grandes cidades é normalmente acompanhado de profundas alterações no ambiente natural. O aumento desordenado da conversão de áreas naturais e a intensificação das atividades agrícolas nas áreas de expansão urbana representam uma ameaça à integridade dos recursos hídricos.

Historicamente, o acelerado processo de urbanização e o crescimento das cidades, resultantes da migração intensa da população rural para áreas urbanas, principalmente nos últimos trinta anos, acabaram por desencadear processos de alteração do meio físico que, por sua vez, implicaram em degradação ambiental. Essas áreas, em grande parte dos casos, não dispunham de nenhum tipo de planejamento para receber a nova população, que foi se instalando nos setores periféricos desprovidos de infra-estrutura, levando assim a situação delicada do ponto de vista social e ambiental. (CANIL, 2001 apud PEDRO e LORANDI, 2004).

Segundo Silva et al. (2003), uma característica típica das áreas de expansão urbana é a intensa movimentação de terra, que vai desde dos assentamentos de lotes residenciais até a implantação de grandes obras públicas ou privadas. Para o autor essas alterações no uso do solo tem reflexo direto na hidrologia local, principalmente por aumentar a possibilidade de ocorrência de processos erosivos.

Apesar de Brasília ter sido produto de um plano urbanístico rigoroso, o uso e a ocupação do solo do Distrito Federal não vem acontecendo de forma ordenada. As cidades satélites surgiram por meio de pressões de demandas por habitação, forçando, constantemente, a expansão dos espaços residenciais (FONSECA e NETTO, 2001).

A expansão urbana e o crescimento populacional são temas que normalmente estão presente nas análises sobre o uso sustentável dos recursos hídricos, em especial quando se trata dos mananciais destinados ao abastecimento humano. O Distrito Federal e seu entorno apresentam uma taxa de crescimento populacional entre as maiores do país. Esse fato, acompanhado do estilo desordenado de uso e ocupação do solo adotado pelo DF, levaram o cenário ambiental da região a um estágio preocupante. Quando nos atemos somente aos recursos hídricos a questão é ainda mais delicada, pois o DF está localizado numa região de nascente, configurando uma área de reduzida disponibilidade hídrica (BILICH e LACERDA, 2005).

Para Fonseca e Netto (2001), foi a ausência de uma política habitacional no país e no DF que garantisse a oferta planejada de moradia, que levou um grande número de pessoas à busca de soluções habitacionais em áreas disponibilizadas por parceladores privados e mesmo por grileiros de terras públicas, independentemente da observância da legislação urbanística ou ambiental.

Torres (1997), em análise da expansão urbano na bacia do rio Descoberto no DF, constatou, àquela época, que um dos maiores impactos sobre os recursos hídricos do DF está relacionado à proliferação descontrolada de assentamentos urbanos sem planejamento.

Essas ocupações além de não respeitarem as regiões de sensibilidade ambiental levam ao surgimento de núcleos urbanos não consolidados, ou seja, áreas que não possuem equipamentos urbanos básicos, como os loteamentos irregulares e invasões comuns no Distrito Federal. Torres (1997) atribui essa expansão desordenada ao crescimento demográfico do DF, logo, à necessidade de moradia da crescente população e à especulação imobiliária. Por outro lado, deve-se considerar também a falta de planejamento urbano e de políticas públicas eficientes destinadas a coibir novas invasões e promover a regularização, quando houver viabilidade, das ocupações existentes.

Fonseca e Netto (2001) constataram que na Bacia do Lago Paranoá, a situação dos condomínios e dos parcelamentos irregulares, incluindo o reparcelamento de áreas rurais remanescentes, apresenta números assustadores, considerando-se a fragilidade ambiental da região e sua importância para a sustentabilidade do lago e dos recursos hídricos da região. Segundo os dados levantados pela CAESB, em 1999, e considerando resultados preliminares do Censo do IBGE/2000, nos parcelamentos irregulares da bacia, existiam 27.016 lotes, dos quais 13.171 já estavam ocupados, abrigando uma população de 72.968 pessoas, podendo chegar ao total de 130.380 habitantes vivendo nessas áreas.

Para os autores citados acima, “o quadro atual de uso e ocupação do solo, no Distrito Federal, exige uma trégua”. Há uma necessidade imediata do desenvolvimento de estudos sérios e da definições clara das regras de uso do solo no DF, sob pena de continuarmos promovendo a degradação ambiental até o grau da insustentabilidade.

### 3.2. A QUESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO DISTRITO FEDERAL

O Código das Águas de 1934 foi o primeiro instrumento legal a tratar efetivamente de recursos hídricos no Brasil. No Distrito Federal, a Lei 2.725, de 13 de junho de 2001 (DISTRITO FEDERAL, 2001), institui a Política de Recursos Hídricos e cria o Sistema de Recursos Hídricos do Distrito Federal (DF).

De acordo com essa Lei, a gestão dos recursos hídricos do DF deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades; e obrigatoriamente proporcionar o uso múltiplo das águas. Dentre os objetivos da Lei 2.725/01, a necessidade de assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água, em padrões de qualidade e quantidade adequados aos respectivos usos; bem como promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável (ADASA, 2007).

Visando alcançar os objetivos estabelecidos na Lei 2.725/01, este instrumento legal recomenda como diretrizes de ação da Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal que a gestão sistemática dos recursos hídricos seja implementada em dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, adequada às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das regiões do Distrito Federal; e que fundamentalmente haja integração da gestão de recursos hídricos com a Política Ambiental e de uso do solo; bem como uma constante articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos local, regional e nacional (ADASA, 2007).

As questões relacionadas às águas do Distrito Federal e Entorno superam em complexidade a maioria das situações observadas nas demais unidades da federação (ADASA 2002). O Distrito Federal apresenta crescimento populacional muito superior ao havia sido originalmente previsto para o Plano Piloto e Cidades Satélites (IBGE, 2000). Este crescimento populacional acelerados leva a ocupação sem planejamento e conseqüentemente a um aumento desordenado da demanda de água e da degradação ambiental.

Segundo a CAESB (1999), o atendimento às demandas hídricas é realizado com dificuldades face ao crescimento populacional desordenado e à situação hidrográfica do DF, que apresenta-se como uma região de nascentes que contribuem para importantes bacias brasileiras: bacias do rio São Francisco (rio Preto), bacia do rio Paraná (rio São Bartolomeu e Descoberto) e bacia dos rios Araguaia-Tocantins (rio Maranhão). Isto faz com que os cursos d'água, apesar de perenes, sejam de pequeno a médio porte. Sendo assim, o aumento populacional traz, não só um aumento direto da demanda hídrica para abastecimento humano,

como um aumento da demanda por alimentos - levando a um incremento da demanda hídrica para a agricultura irrigada, notadamente de hortigranjeiros.

Segundo Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - ADASA (2002), os problemas ambientais relacionados aos recursos hídricos mais evidentes são a contaminação das águas por lançamento de esgotos domésticos sem tratamento, por agroquímicos e por efluentes de origem animal, no meio rural, e a erosão e o assoreamento devido ao desmatamento e à urbanização, inclusive em Áreas de Preservação Permanente: matas de galeria, veredas e nascentes.

O município de Águas Lindas, por exemplo, com uma população de 105.746 habitantes, segundo o Censo 2.000 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE , localizado no estado de Goiás, apresenta os dados mais críticos do entorno do Distrito Federal, representados, principalmente, pela inexistência de qualquer sistema de esgotamento sanitário ou rede de abastecimento de água, sendo que toda água consumida nesse município é de origem subterrânea. Um agravante quanto cidade de Águas Lindas refere-se a sua posição geográfica. A cidade se desenvolve no divisor oeste da bacia do lago Descoberto, apresentando loteamentos e condomínios irregulares que encontra-se na área de drenagem do Lago Descoberto – principal manancial da captação de água para o Distrito Federal.

Outra legislação do Distrito Federal que merece destaque é a Lei Complementar nº 17, de 28 de janeiro de 1997 (DISTRITO FEDERAL, 1997), que institui o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT/DF. Esse instrumento tem por finalidade realizar o desenvolvimento das funções sociais da propriedade urbana e rural e o uso socialmente justo e ecologicamente equilibrado do Distrito Federal, de forma a assegurar o bem-estar de seus habitantes. O PDOT/DF é ainda o instrumento básico da política territorial e de orientação aos agentes públicos e privados que atuam na produção e gestão das cidades e do território do Distrito Federal.

Uma importante contribuição que o PDOT/DF trouxe para questão dos recursos hídricos, em especial para os mananciais de abastecimento público de água, foi a criação, por meio do seu Art. 30, das Áreas de Proteção de Mananciais. Essas são "áreas destinadas à conservação, recuperação e manejo de bacias hidrográficas situadas a montante dos pontos de captação de água para abastecimento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), sem prejuízo das atividades e ações inerentes à competência de captar e distribuir água de boa qualidade e em quantidade suficiente para o atendimento da população" (DISTRITO FEDERAL, 1997).

A CAESB é a empresa responsável pelo abastecimento de água e pelo esgotamento sanitário do Distrito Federal. Segundo estudo da CAESB (2004), o Distrito Federal é hoje abastecido por dois grandes sistemas (Descoberto e Santa Maria/Torto) e por outros 21 mananciais de pequeno a médio porte.

As cidades de Brazlândia, Sobradinho e Planaltina são abastecidas, exclusivamente, por pequenos sistemas de captação. As demais localidades são atendidas por um sistema integrado, formado pelos grandes mananciais (Descoberto, Torto e Santa Maria) e por alguns pequenos mananciais. A cidade de São Sebastião é a única localidade urbana do Distrito Federal abastecida por água oriunda exclusivamente de aquíferos locais (poços tubulares, água subterrânea).

Sendo assim, a importância dos pequenos mananciais operados pela CAESB merece destaque no planejamento e gestão das águas no Distrito Federal. A operação dos pequenos sistemas de abastecimento de água é mais barata, pois, além de apresentar, normalmente, melhores condições de qualidade da água em relação aos grandes sistemas, estão mais próximas do consumidor final, reduzindo o custo com redes e recalques (material e energia, respectivamente).

No entanto, apesar da relevância operacional e da importância para o bem-estar dos moradores do DF dos pequenos cursos d'água, as pressões ocupacionais nas áreas de contribuição dos mananciais vêm comprometendo a qualidade e quantidade das águas (CAESB, 2004). A instalação de parcelamentos irregulares nas bacias das captações, ou bem próximos a elas, tem configurado um perigoso quadro de ameaça aos sistemas operados pela CAESB, pois deles decorrem deposição de lixo a céu aberto, desmatamentos ilegais, queimadas, carreamento de sólidos pelas águas da chuva, o desenvolvimento de processos erosivos, entre outros. Como principal agravante dessa maneira aleatória de fixação de populações em loteamentos caracteristicamente urbanos, destaca-se a poluição ocasionada pelo aporte de efluentes sanitários não tratados, que vêm contaminando os solos e os corpos hídricos de maneira pontual e difusa.

### 3.3. ÁREA DE ESTUDO

O clima predominante no Distrito Federal, segundo a classificação de Köppen é “tropical de Savana”, com a concentração da precipitação pluviométrica no Verão. A estação chuvosa começa em outubro e termina em abril, representando 84% do total anual. O

trimestre mais chuvoso é de novembro a janeiro, sendo dezembro o mês de maior precipitação do ano. A estação seca vai de maio a setembro, sendo que, no trimestre mais seco (junho/julho/agosto), a precipitação representa somente 2% do total anual. Em termos de totais anuais, a precipitação média interanual, no Distrito Federal, varia entre 1.200 mm a 1.700 mm (CODEPLAN, 1984).

A região do Distrito Federal, com uma área de 5.789,16 km<sup>2</sup>, é drenada por cursos d'água pertencentes a três das mais importantes bacias hidrográficas brasileiras: São Francisco (rio Preto), Tocantins/Araguaia (rio Maranhão) e Paraná (rios São Bartolomeu e Descoberto). Esses rios são descritos como rios de planalto, e suas bacias identificadas por um padrão de drenagem radial. Pela disposição da drenagem, observa-se que dois de seus cursos de água são delimitadores do território do Distrito Federal: a Leste, o rio Preto; e, a Oeste, o rio Descoberto.

A altitude dos divisores de água é da ordem de 1.200/1.300 m. Na separação entre as Regiões Hidrográficas Tocantins/Araguaia e do Paraná predominam vertentes formadas por chapadas, enquanto nos limites entre as bacias do Paraná e São Francisco a ocorrência mais comum no relevo é a de formas de serras e quebradas. Dadas as condições favoráveis dos solos, da topografia e do clima, a grande maioria dos cursos da rede de drenagem local conta com regime perene.

A Região Hidrográfica do São Francisco drena, aproximadamente, 1.407 km<sup>2</sup> do Distrito Federal, com uma descarga média de longo período de 23 m<sup>3</sup>/s. Essa região é constituída pela Bacia do Rio Preto, cuja nascente encontra-se próxima à cidade de Formosa. Os seus principais afluentes são: ribeirão Santa Rita, ribeirão Jacaré, ribeirão Extrema, rio Jardim e ribeirão São Bernardo (FONSECA, 2001).

A Região Hidrográfica Tocantins/Araguaia drena cerca de 773 km<sup>2</sup> do Distrito Federal, compreendendo praticamente toda a região Norte do mesmo. Essa região é constituída pela Bacia do rio Maranhão, cuja nascente encontra-se próxima ao Distrito Federal, sendo seus principais afluentes: o rio Palmeiras, ribeirão Sonhim, ribeirão da Contagem, ribeirão das Pedreiras, ribeirão Cafuringa, rio das Palmas, ribeirão Dois Irmãos e rio do Sal.

A Região Hidrográfica do Paraná é responsável pela maior área drenada do Distrito Federal, ocupando, aproximadamente, uma área de 3.658 km<sup>2</sup> com uma descarga média de 64 m<sup>3</sup>/s. Essa região é constituída pelas bacias hidrográficas do rio São Bartolomeu, do Lago Paranoá, do rio Descoberto, do rio Corumbá e do rio São Marcos. Por ter a maior área de drenagem, cerca de 65% de toda porção territorial do Distrito Federal, a região hidrográfica

do Paraná é de grade importância para a região, pois nela estão localizadas as principais áreas urbanas e captações de água para abastecimento público.

Quanto aos solos do Distrito Federal, a melhor fonte de informações encontrada refere-se ao trabalho realizado pelo Serviço Nacional de Levantamento de Solos (EMBRAPA, 1978), de onde se obteve o mapa pedológico do DF, na escala 1:100.000.

Dentre as classes de solo apresentadas no estudo da EMBRAPA para o Distrito Federal, destaca-se a presença de Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo, que juntos representam 85,5% (EMBRAPA, 1978).

A área de estudo corresponde a 11 microbacias onde há captação de água para abastecimento da população do Distrito Federal, além de um *buffer* (faixa perimétrica) de 1000 metros de cada bacia. As 11 microbacias estão localizadas no do Distrito Federal, abrangendo uma área total de aproximadamente 280 km<sup>2</sup>, inseridas parcialmente nas seguintes Regiões Administrativas (RA's): Ceilândia – RA IX, Sobradinho II – RA XXVI, Brazlândia – RA IV, Lago Norte – RA XVIII, Taguatinga – RA III, Planaltina – RA VI, Paranoá – RA VII e Itapoã – RA XXVII.

A escolha dessas microbacias foi baseada na importância que elas representam no contexto de abastecimento público de água do Distrito Federal. Segundo CAESB (2005), apesar dos pequenos sistemas de captação da empresa representarem menos de 10% da água consumida no DF, esses sistemas, são estratégicos para gestão dos recursos hídricos do DF uma vez que oferecem uma água de baixo custo de tratamento e distribuição, além de representarem, em alguns casos, bolsões de áreas ainda conservadas que podem servir de corredores ecológicos entre as unidades de conservação existentes no DF e entorno.

A área das microbacias foi traçada a partir do ponto de captação operado pela CAESB de acordo com as curvas de nível definidas pelo Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD) com resolução de 1:10.000 e equidistância de 5 metros. Essas microbacias estão inseridas nas bacias hidrográficas do rio São Bartolomeu, do Lago Paranoá e do rio Descoberto. Essas três bacias estão inseridas na bacia hidrográfica do rio Paraná. As microbacias estudadas são formadas pelos ribeirões ou córregos descritos a seguir:

#### Córrego Currais

A bacia hidrográfica do córrego Currais está ocupada por parte das cidades de Taguatinga e Ceilândia e pela Floresta Nacional de Brasília. Atualmente esta captação encontra-se desativada; contudo, por representar uma importante área de nascentes que

alimentam a barragem do Lago Descoberto é considerada como estratégica para monitoramento (CAESB, 2005).

A área aproximada da bacia é de 25,41 km<sup>2</sup>, o ponto de captação corresponde as coordenadas E = 166.609 N = 8.253.975 (UTM SICAD). Quanto à situação fundiária a área encontra-se desapropriada, contudo com várias invasões. Em relação às infra-estruturas existentes ressalta-se que toda a área está cercada e sinalizada pela CAESB (CAESB, 2005).

O córrego Currais é afluente do ribeirão Pedras que é um tributário do lago Descoberto, pertencente à Bacia do Descoberto, que por sua vez está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Ribeirão Pedras

A bacia hidrográfica do ribeirão das Pedras, a montante da captação da CAESB, está ocupada em sua totalidade pela Floresta Nacional de Brasília. A bacia possui aproximadamente 28,54 km<sup>2</sup> e as coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD) são: E = 166.690 e N = 8.254.138 (CAESB, 2005).

O ribeirão Pedras é um tributário do lago Descoberto, pertencente à Bacia do Descoberto, que por sua vez está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Córrego Taquari

A bacia hidrográfica do córrego Taquari abrange uma área de aproximadamente 5,4 km<sup>2</sup>. A maior parte da vegetação natural da microbacia foi substituída por reflorestamentos de pinheiros e eucaliptos. Praticamente toda a área da bacia encontra-se sob domínio da CAESB. A bacia do córrego Taquari está localizada a próxima à cidade do Paranoá – DF. As coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD) são: E=199.615 e N=8.258.212 (CAESB, 2005).

O córrego Taquari é um tributário do lago Paranoá, pertencente à Bacia do Paranoá, que está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Córrego Cachoeirinha

A bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha possui uma área aproximada de 9,2 km<sup>2</sup>, sendo sua água utilizada para o abastecimento de parte da cidade do Paranoá. A bacia

encontra-se ocupada atualmente em grande parte pelo loteamento “Itapuã” e “La Font”. As coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD) são: E = 205.340 e N = 8.254.761 (CAESB, 2005).

O córrego Cachoeirinha é um tributário do rio Paranoá, afluente do rio São Bartolomeu, pertencente à Bacia do São Bartolomeu, que por sua vez está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Córrego Quinze

A bacia hidrográfica do Córrego Quinze compreende uma área de 39 km<sup>2</sup> com predominância de atividades agrícolas. Esta captação atende exclusivamente ao bairro do Vale do Amanhecer, na região de Planaltina – DF. Parte da vazão da captação é derivada para um canal de irrigação. As coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD) são: E = 217.172 e N = 8.263.849 (CAESB, 2005).

O córrego Quinze pertencente à Bacia do São Bartolomeu, que está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Ribeirão Corguinho

A bacia hidrográfica a montante da captação do ribeirão Corguinho abrange uma área de drenagem de aproximadamente 8,1 km<sup>2</sup>. As Coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD) são: E = 207.546 e N = 8.271.018.

A bacia apesar de ainda manter alguns trechos com vegetação nativa, localiza-se bem próxima a cidade de Sobradinho e é cortada pela BR-020, o que tem contribuído para a ocorrência problemas ambientais na área (CAESB, 2005).

O ribeirão Corguinho é um tributário do rio Mestre D’Armas, afluente do rio São Bartolomeu, pertencente à Bacia do São Bartolomeu, que por sua vez está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Córrego Fumal

A bacia hidrográfica do Córrego Fumal possui uma área de drenagem de 48,0 km<sup>2</sup> a montante da captação de água da CAESB. Sua bacia encontra-se em grande parte protegida pela Estação Ecológica de Águas Emendadas. Contudo a BR-020 cruza uma grande extensão

de sua bacia causando problemas de escoamento superficial (CAESB 2005). As coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD) são: E = 213.950 e N = 8.274.529. Esta captação abastece parte da cidade de Planaltina-DF;

O córrego Fumal também é um tributário do rio Mestre D'Armas, afluente do rio São Bartolomeu, que está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Córrego Mestre D'Armas

A bacia hidrográfica do ribeirão Mestre D'Armas possui uma área de contribuição de aproximadamente de 52,3 km<sup>2</sup>. A bacia fica localizada próxima à cidade de Planaltina e Sobradinho, sendo que sua captação opera principalmente no período seco do ano. As coordenadas do ponto de Captação (UTM SICAD) são: E = 211.287 e N = 8.272.874 (CAESB 2005).

O córrego Mestre D'Armas é afluente do rio São Bartolomeu, que está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Córrego Brejinho

A bacia do córrego Brejinho possui uma área aproximadamente de 18,9 km<sup>2</sup>, considerando que esta bacia está totalmente inserida na bacia hidrográfica do Córrego Fumal. A captação do Brejinho abastece parte da cidade de Planaltina. O Córrego Brejinho nasce na Estação Ecológica de Águas Emendadas. As coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD) são: E = 216.900 e N = 8.274.573 (CAESB, 2005).

O córrego Brejinho é tributário do córrego Fumal, afluente do rio São Bartolomeu, pertencente à Bacia do São Bartolomeu, que por sua vez está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

#### Córrego Capão da Onça

A bacia hidrográfica do córrego Capão da Onça possui uma área de 8,3 km<sup>2</sup>, ocupada por extensas áreas de reflorestamento. Esta captação está localizada próxima a cidade de Brazlândia-DF e a água nela captada é utilizada para o abastecimento desta cidade. Grande parte da bacia encontra-se dentro da Floresta Nacional de Brasília (CAESB, 2005). As coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD): E = 160.210 e N = 8.266.247.

O córrego Capão da Onça é um tributário do rio Descoberto, pertencente à Bacia do Descoberto, que está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

### Córrego Barroco

A bacia hidrográfica do córrego Barroco possui uma área de drenagem de aproximadamente 37,3 km<sup>2</sup>, ocupada principalmente por atividades agrícolas e reflorestamentos. A bacia está localizada na região de Brazlândia e abastece esta cidade. A bacia hidrográfica do córrego Capão da Onça faz parte da bacia da captação do Barroco (CAESB, 2005). As coordenadas do ponto de captação (UTM SICAD) são: E = 158.559 e N = 8.268.937.

O córrego Barroco também é um tributário do rio Descoberto, pertencente à Bacia do Descoberto, que está inserida na bacia hidrográfica do Paraná.

Para facilitar o processamento das informações que subsidiaram a composição do ISBH as microbacias estudadas foram agrupadas por região. As regiões foram definidas pela proximidade entre as microbacias e identificadas pelo nome da área urbana mais próxima. A tabela 02, a seguir apresenta as microbacias inseridas em cada uma das 4 regiões.

Tabela 02. Agrupa as microbacias estudadas por região e destaca a que bacias elas estão inseridas.

<b>Regiões</b>	<b>Microbacias</b>	<b>Bacia</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
Paranoá	Córrego Cachoeirinha	São Bartolomeu	9.2
	Córrego Taquari	Paranoá	5.4
Planaltina	Córrego Mestre D'Ármas	São Bartolomeu	52.3
	Ribeirão Corguinho	São Bartolomeu	8.1
	Córrego Fumal	São Bartolomeu	48
	Córrego Brejinho	São Bartolomeu	18.9
	Córrego Quinze	São Bartolomeu	39
Taquatinga	Córrego Currais	Descoberto	25.4
	Ribeirão Pedras	Descoberto	28.54
Brazlândia	Córrego Capão da Onça	Descoberto	8.3
	Córrego Barroco	Descoberto	37.3

Nas figuras 2 a 5, a seguir, são apresentados os mapas de localização das regiões no Distrito Federal e das microbacias inseridas em cada uma das regiões definidas para este trabalho.

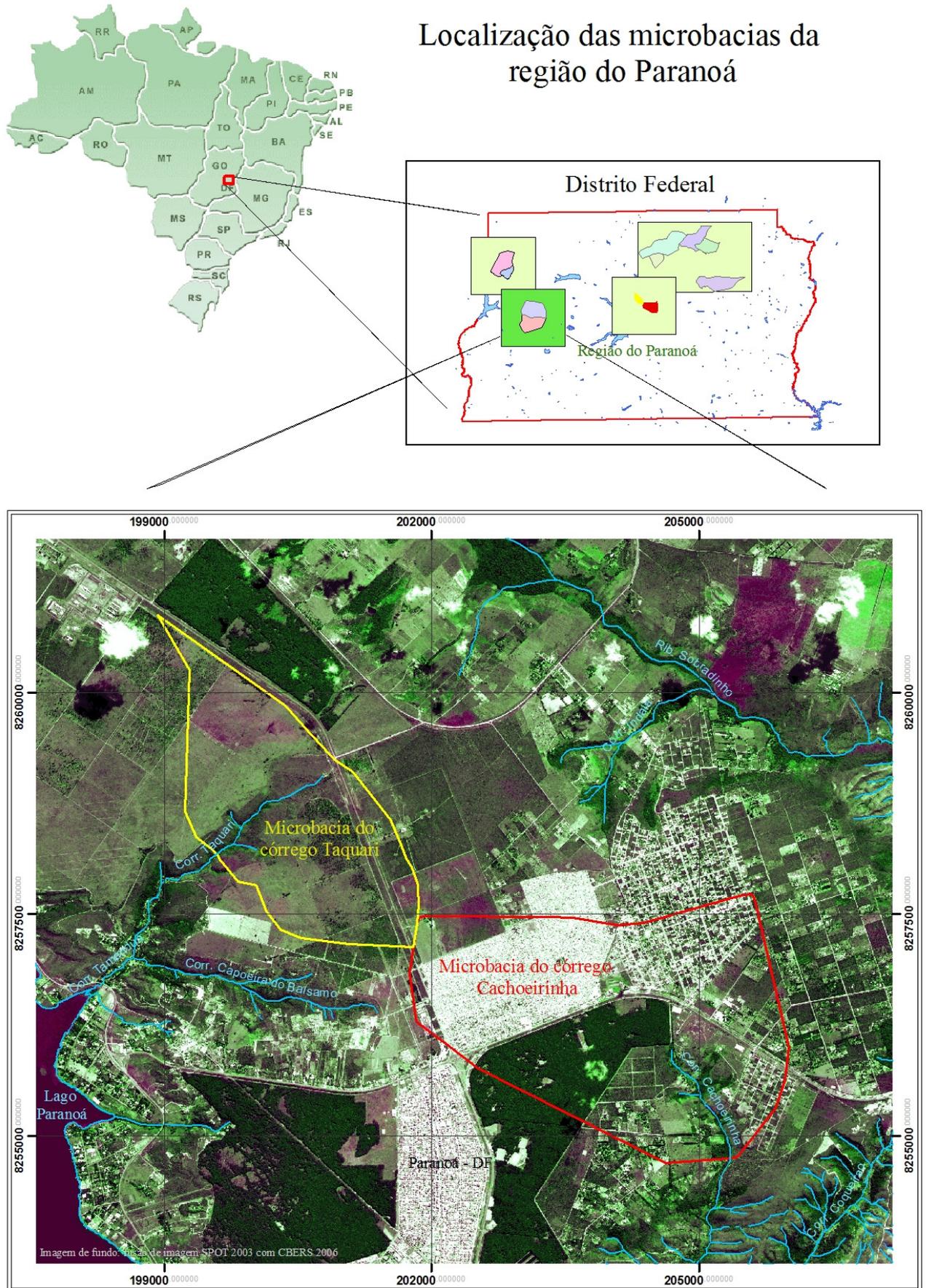


Figura 02. Mapa de localização da região de Paranoá e das microbacias formadas pelos córregos Taquari e Cachoeirinha.

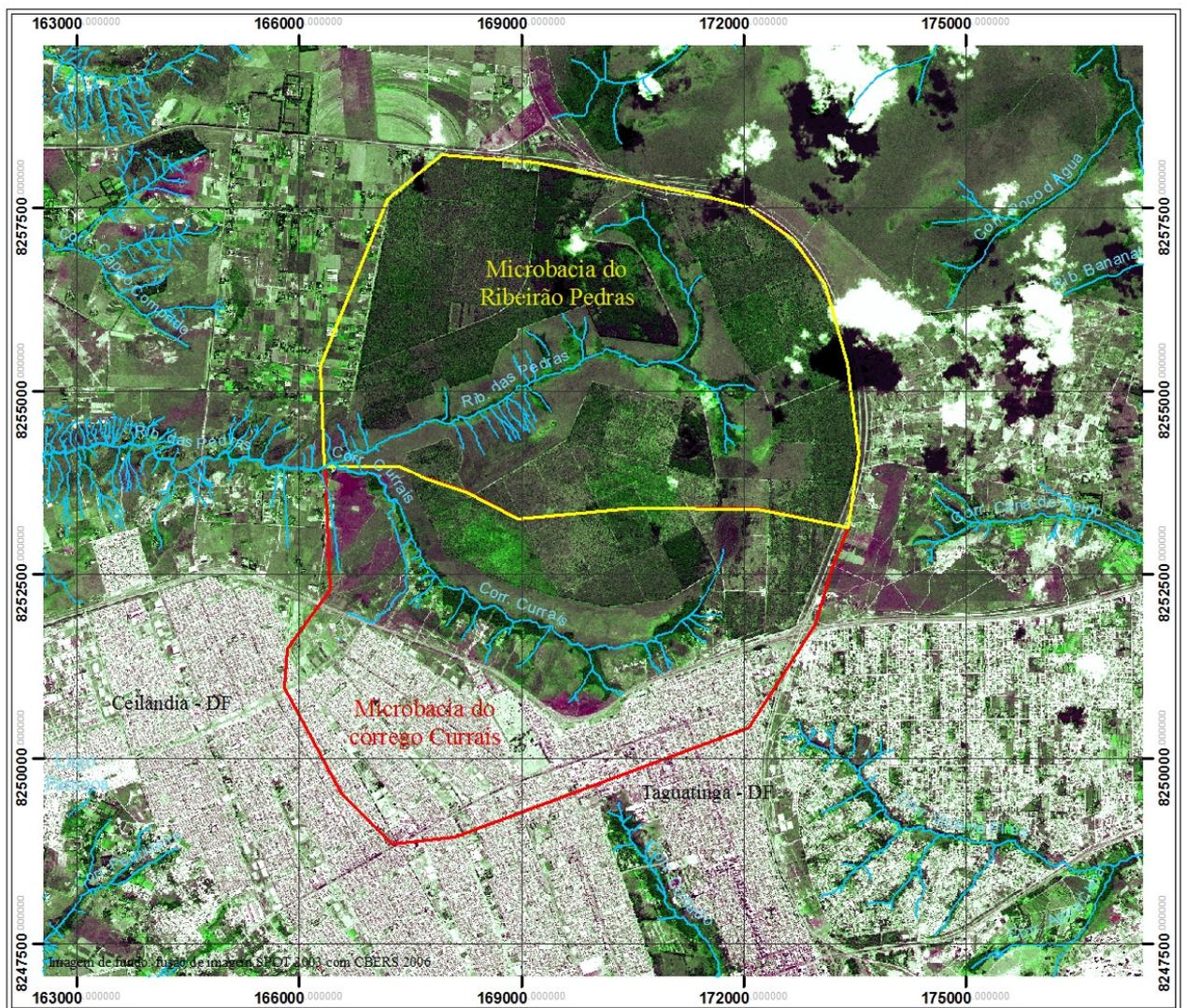
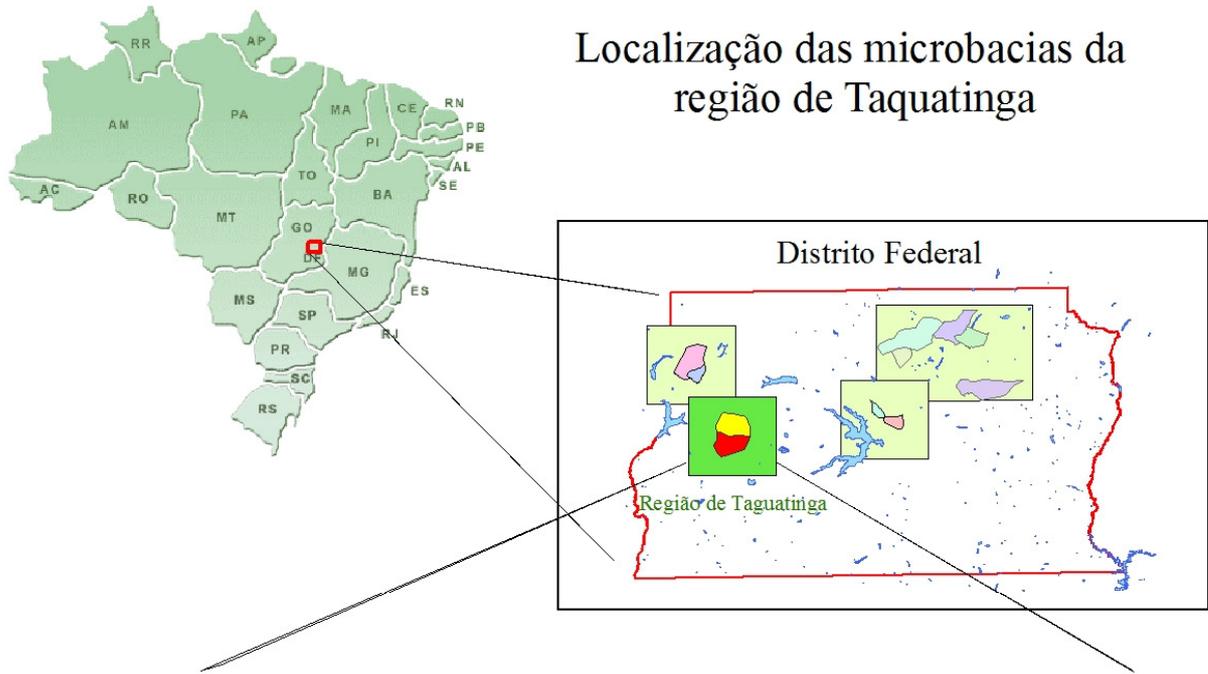


Figura 03. Mapa de localização da região de Taguatinga e das microbacias formadas pelo córrego Currais e o ribeirão Pedras.

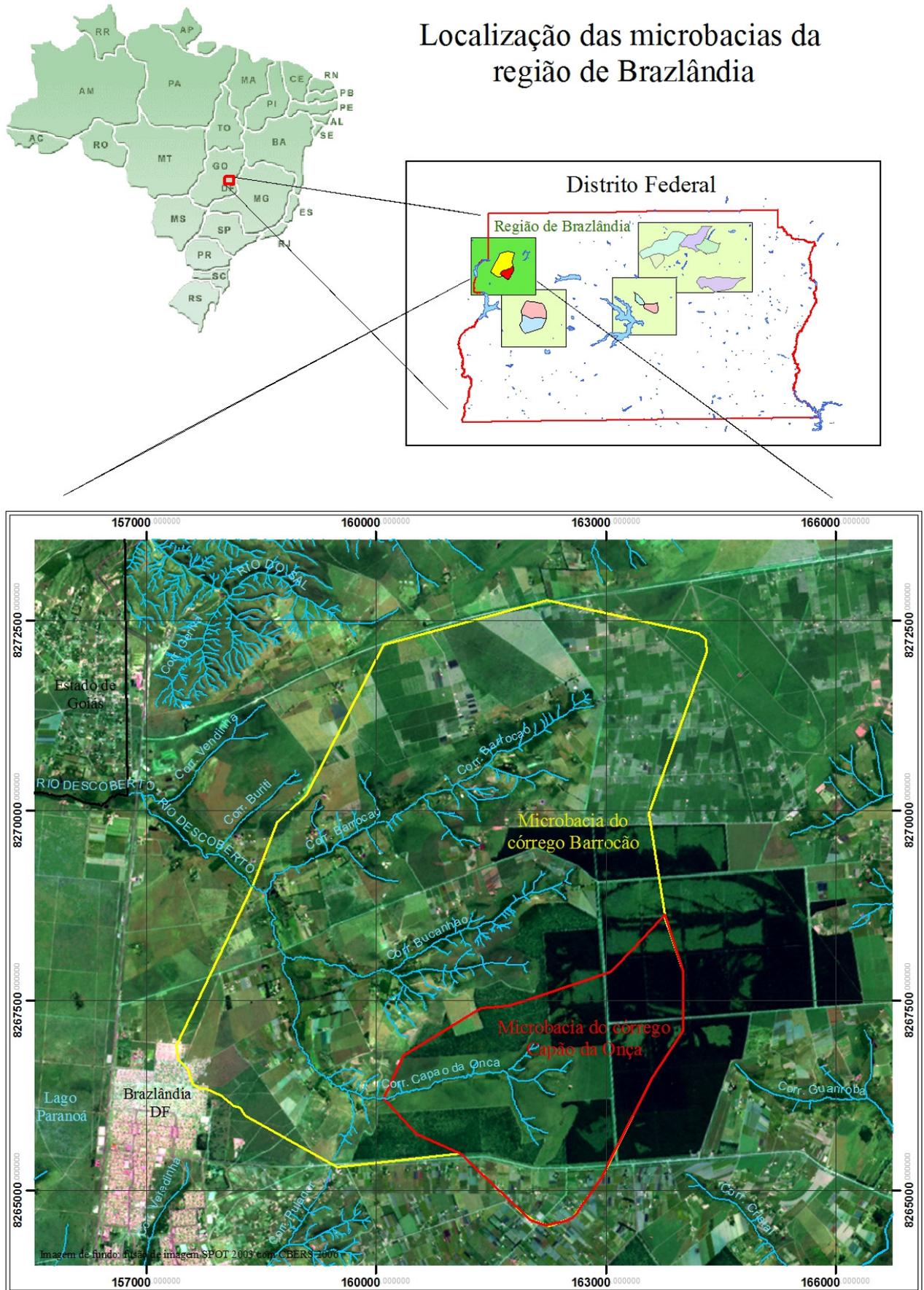


Figura 04. Mapa de localização da região de Brazlândia e das microbacias formadas pelos córregos Barrocão e Capão da Onça.

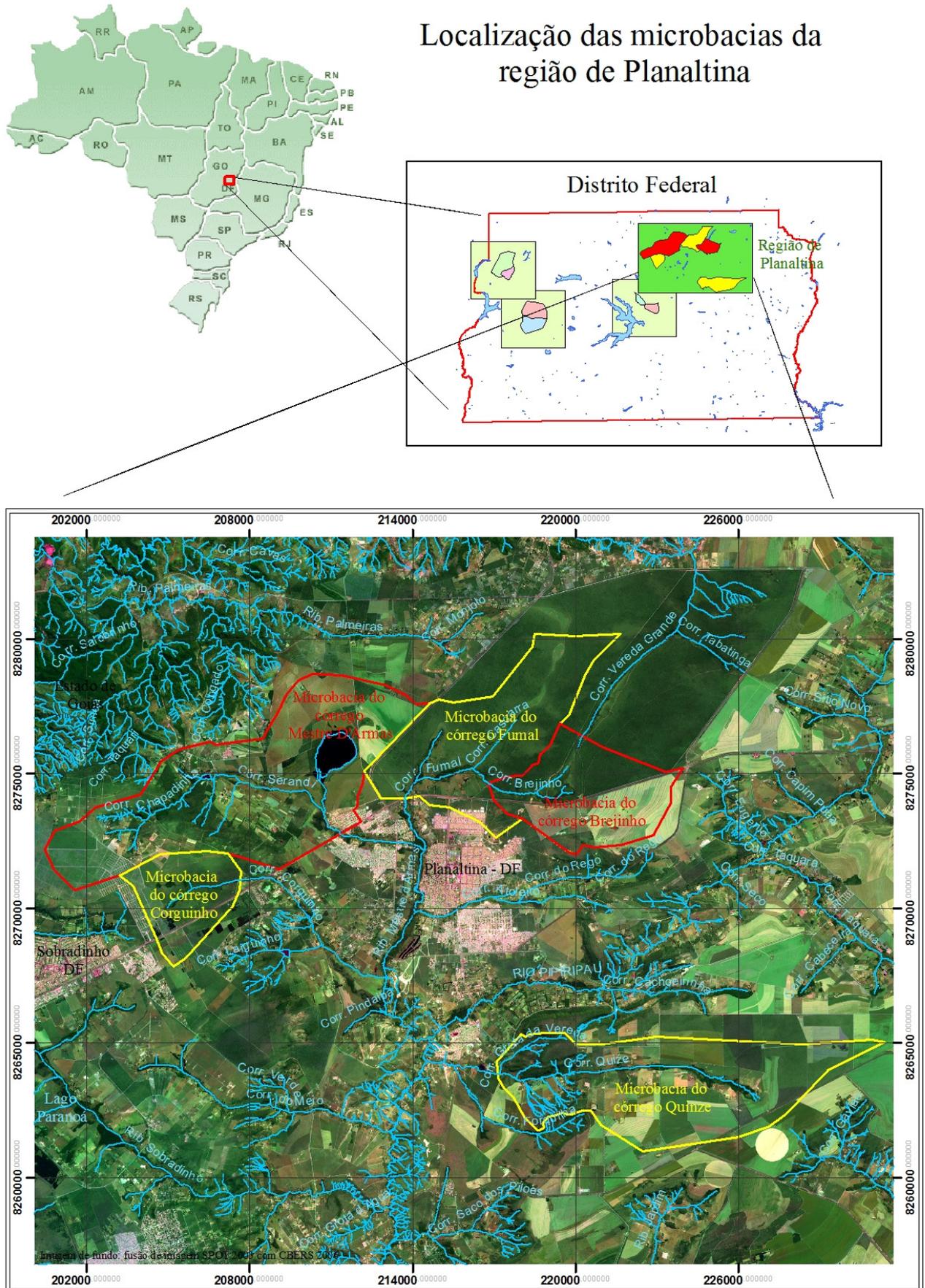


Figura 05. Mapa de localização da região de Planaltina e das microbacias formadas pelos córregos Corguinho, Brejinho, Fumal, Mestre D'Armas e Quinze.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. IMAGENS E TRATAMENTOS

Uma importante fonte de informação que subsidiou a composição das dimensões e indicadores do Índice de Sustentabilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas foi o mapeamento do uso e ocupação do solo das microbacias estudadas em três anos (1984, 1995 e 2006).

Esse mapeamento somente foi possível por meio da interpretação de imagens de satélite. Essas imagens são geradas por sistemas sensores acoplados a satélites artificiais. Satélites artificiais são veículos espaciais colocados em órbita da Terra por meio de foguetes. Como eles ficam em órbita a muitos quilômetros da superfície, e por um longo período de tempo os satélites permitem a obtenção de imagens de grandes extensões da superfície terrestre de forma repetitiva.

O processo de classificação de imagens de satélite pode ser entendido como um procedimento para a extração de informações para reconhecimento de padrões e objetos com características espectrais semelhantes. Este procedimento tem por finalidade a simplificação na quantidade de informações extraídas da imagem, através de associações de grupos de pixels em determinadas classes pré-estabelecidas.

Os métodos de classificação fazem uma transformação de um grande número de níveis de cinza em cada banda espectral em um pequeno número de classes em uma única imagem e podem ser do tipo pixel a pixel ou por região. No primeiro método a definição das regiões homogêneas é feita utilizando-se apenas a informação espectral do pixel, aplicando técnicas estatísticas ou por métodos determinísticos. Na metodologia de classificação por região são utilizados tanto a coordenada espectral quanto a espacial através da análise de relação entre pixels vizinhos. Um outro método de classificação refere-se à intervenção humana no processo, sendo denominada Supervisionada ou Não Supervisionada. Na classificação Supervisionada, o usuário define as classes e apresenta amostras ao computador, a partir das quais ele pode calcular parâmetros estatísticos para descrever cada classe (CENTENO, 2004).

Na seleção de amostras representativas de classe faz-se necessário que esta seja homogênea e que ao mesmo tempo inclua toda a variabilidade de níveis de cinza (FREITAS et. al., 2006). Esse autor recomenda ainda que “para se obter estimativas confiáveis dos parâmetros populacionais das classes recomenda-se que cada amostra

possua de 10 a 100 pixels, dependendo do número de bandas usado”. No processo Não Supervisionado a intervenção do usuário só ocorre na definição do número de classes. Neste caso todo procedimento de classificação é feito por algoritmos que analisam o conjunto de dados disponíveis e neles classificam as classes mais frequentes.

Dentro das classificações supervisionadas a mais utilizada no sensoriamento remoto é o método Maxver (da máxima verossimilhança). A eficácia do Maxver depende, principalmente, de uma precisão razoável da estimativa do vetor médio e da matriz de covariância de toda classe espectral. Cada amostra de treinamento é representada por pixels com reflexão característica e vale como área de referência dos valores digitais da classe. O resultado do método Maxver é melhor quanto maior o número de pixels da amostra de treinamento usados para estimar os parâmetros. Se o tamanho das amostras de treinamento para as classes é limitado, recomenda-se um método de classificação mais simples e rápido, que não use uma matriz de covariância, como o método da distância mínima ou do paralelepípedo (FREITAS et al., 2006).

Nas classificações em que se usa o algoritmo Maxver, cada classe é determinada por um modelo de classes normal e variado. Este modelo toma conta das extensões de dados em direções espectrais determinadas. Crósta (1993), citado por Freitas et al. (2006) considera que o método Maxver deve ser aplicado quando o analista conhece bem a imagem a ser classificada, para que possa definir classes que sejam representativas.

#### 4.2. MATERIAL E EQUIPAMENTOS

Para a realização deste trabalho foram necessários os materiais e equipamentos listados a seguir:

- Imagem de satélite Landsat5 TM+, órbita número 221-71 do ano de 1984. Esta imagem foi cedida pelo Departamento de Geologia da Universidade de Brasília e passou pelo processo de georreferenciamento, tratamento e restauração. A resolução final da imagem foi de 15 metros e a composição de bandas adotada foi R5 G4 B3.
- Imagem de satélite SPOT, capturada em 1995, com 4 cenas que cobrem todo Distrito Federal. A imagem foi cedida pela Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do Distrito Federal (SEDUMA) e passou pelo

processo de georreferenciamento e tratamento, resultando em uma composição de bandas R2 G3 B1, com resolução de 10 metros.

- Imagem de satélite SPOT, capturada em 2003, com apenas uma cena que cobre parcialmente o DF (cerca de 70 % do total do território) e a banda pancromática. Esta imagem foi cedida pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB);
- Imagem de satélite CBERS 2, capturada em 2006, com 4 cenas que possibilitam a total cobertura do DF, adquirida diretamente do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A imagem foi georreferenciada, tratada e restaurada, atingindo uma resolução de 10 metros em uma composição colorida R2 G3 B4;
- Fusão da imagem de satélite CBERS 2, de 2006 com a banda pancromática da imagem SPOT 2003. Essa fusão foi realizada por meio de uma interpolação executada no software SPRING que resultou em uma imagem com resolução de 5 metros, em uma composição R2 G3 B4;
- Mapa mapa pedológico do DF, na escala 1:100.000 (EMBRAPA, 1978);
- Micromputador PC Intel Centrino Duo, 2.0 GHz, 2Gb de memória RAM;
- Programas computacionais: ArcGis versão 9.2, Sistema de Processamento de Informações Geográficas (SPRING) versão 4.2, ENVI versão 4.3 e Microsoft *Office* 2003;
- Bases digitais (Curvas de nível, hidrografia, estradas principais e secundárias, cercas, áreas urbanas, unidades de conservação da natureza e parques ecológicos) em formato SHP, adquiridas junto à Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) e à Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN), todas no Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD);
- Mapeamento das Regiões administrativas do Distrito Federal dos anos de 2000 e 2007, cedidas pela CODEPLAN;
- Dados de educação, saúde e renda da população do Distrito Federal, cedidos pela CODEPLAN e referente aos estudos da Pesquisa Distrital de Amostras de Domicílios PDAD (2004), Perfil Sócio-Econômico das Famílias do Distrito Federal (1997), Estrutura da Renda Familiar no Distrito Federal (1985) e estudos internos desta companhia;

- Dados históricos do monitoramento da qualidade da água dos corpos hídricos do Distrito Federal, cedidos pela CAESB;
- Dados históricos de pluviometria das estações climatológicas operadas pela CAESB, dados cedidos pela CAESB;

#### 4.3. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DAS MICROBACIAS

Pesquisas desenvolvidas em microbacias experimentais demonstraram que a forma do uso e da ocupação do solo e os diversos tratamentos aplicados à cobertura vegetal afetam diretamente tanto a qualidade da água dos cursos d'água quanto o regime de vazão das microbacias. Em certas situações, a quantidade de água da chuva que chega aos cursos d'água pode aumentar pelo manejo da vegetação, como em outras condições os picos de vazão podem ser reduzidos (ANIDO, 2002).

O mapeamento do uso e ocupação do solo das 11 microbacias estudadas foi fundamental para realização desse estudo. O uso e ocupação do solo serviu de base para diversas dimensões, indicadores e variáveis básicas adotadas na pesquisa. A definição das classes do mapeamento seguiu critérios baseados na realidade de manejo do território comuns no Distrito Federal.

O levantamento do uso e ocupação do solo das microbacias foi efetuado em duas etapas. Primeiro adotou-se uma classificação supervisionada pelo método Maxver (da máxima verossimilhança) e posteriormente foram feitos ajustes por meio de interpretação visual dos polígonos de cada classe. Essa metodologia foi possível pelos seguintes fatores: as microbacias estudadas são relativamente pequenas; as imagens utilizadas na pesquisa possuem boa resolução espacial e espectral; e o pesquisador possui satisfatório conhecimento da área de estudo.

Durante a classificação pelo método Maxver, detalhado anteriormente, foram definidas 12 classes de uso e ocupação do solo conforme apresentado na tabela 03. Essa classificação foi desenvolvida no software ENVI 4.3 e após tratamento e vetorização foram feitos agrupamentos por interpretação visual das classes no software ArcGis 9.2 por meio da ferramenta de edição de polígonos.

Tabela 03. Classes de uso e ocupação do solo com as respectivas porcentagens de área impermeabilizada.

Uso e ocupação do solo	Classes de uso e ocupação
Áreas Urbanas	Consolidada alta densidade
	Consolidada baixa densidade
	Consolidação/parcelamento urbano
Áreas Degradadas	Solo exposto/estradas
	Pastagem degradada
Áreas Rurais	Chácaras/parcelamento rural
	Agrícola grande porte < que 20 hectares
	Agrícola pequeno porte > que 20 hectares
Áreas com Cobertura Vegetal	Pastagem/regeneração inicial
	Regeneração avançada
	Reflorestamento
	Vegetação nativa (clímax)

Para facilitar a apresentação uso e ocupação do solo nos três anos (1984, 1995 e 2006) em que o mapeamento foi realizado, adotou-se um agrupamento dos usos em áreas: urbanas; degradadas; rurais e com cobertura vegetal, conforme descrito a seguir:

#### Áreas urbanas

- consolidada de alta densidade - corresponde as áreas cuja urbanização atinge níveis elevados, com alto grau de impermeabilização do solo e onde os serviços de saneamento ambiental estão presentes;
- consolidada de baixa densidade - corresponde as áreas onde a urbanização já é considerada irreversível e ainda não possui serviços de saneamento ambiental implementado, a exemplo de condomínios regularizados e densamente ocupados, ou áreas planejadas para ocupação de baixa densidade já dotada de serviços de saneamento ambiental;
- consolidação/parcelamento urbano - esta classe refere-se as áreas, em sua maioria rural, que apresenta padrão de ocupação em consolidação para se tornar urbana. Um exemplo dessa classe são os condomínios irregulares comuns no Distrito Federal.

### Áreas degradadas

- Solo exposto/estradas - envolve as estradas pavimentadas e não pavimentadas e as áreas com solo exposto decorrente de ações diversas como, mineração, agricultura abandonada, cascalheiras entre outras;
- Pastagem degradada - corresponde as áreas de pastagem abandonada onde a vegetação nativa não encontrou condições de regeneração natural e entrou em processo de difícil recuperação, ou áreas com uso intensivo da atividade pecuária que levou a degradação do pasto.

### Áreas rurais

- Chácaras/parcelamento rural – corresponde as áreas rurais que foram parceladas e os usos são mistos entre agricultura, lazer e veraneio. Alguns parcelamentos rurais podem apontar uma tendência para o parcelamento urbano. A diferenciação entre os dois parcelamentos está no tamanho dos lotes;
- Agrícola grande porte (maior que 20 hectares) – envolve as áreas destinadas a atividade agrícola com áreas em sua maioria maior que 20 hectares e onde a produção principal é destinada ao cultivo de grãos e pastagem;
- Agrícola pequeno porte (menor que 20 hectares) – esta classe abrange as áreas com propriedades de pequeno e médio porte onde a principal atividade é o cultivo de hortifrutigranjeiros.

### Áreas com cobertura vegetal

- Pastagem/regeneração inicial – corresponde as áreas onde a pastagem encontra-se em boas condições ou áreas que foram antropizadas e que se encontram em processo inicial de regeneração;
- Regeneração avançada – corresponde às áreas em estágio avançado de regeneração, a exemplo das áreas onde houve cultivo de eucalipto no passado e após abandonadas a vegetação de cerrado iniciou um processo natural de recuperação.

- Reflorestamento – são as áreas públicas e particulares onde se encontram plantios homogêneos de *pinus* e eucalipto.
- Vegetação nativa – corresponde as áreas com vegetação nativa das diversas fisionomias do bioma cerrado (matas de galeria, campo sujo, campo limpo, cerrado, cerradão, entre outras) em estágio primário, ou seja, com pouquíssima ou nenhum sinal de antropização.

## 5. DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.

Os indicadores inserem-se em uma pirâmide de informações cuja base é formada por dados primários e o topo compreende os índices integrados. Em termos gerais um índice relaciona um valor observado a um padrão estabelecido para aquele componente (UNESCO, 1987). A construção de um índice sintético como o proposto nesse trabalho pode facilitar a ordenação ou comparação entre variáveis que, de alguma forma, influenciam a dinâmica dos recursos hídricos de uma microbacia.

Os trabalhos de Ribeiro (2002), Herculano (1998), Ferreira e Moreti (1998), Toledo (2002), Magalhães-Júnior et al. (2003), Turnes (2004), Silva et al (2004), Meirelles (2005) e Bilich e Lacerda (2005) relacionam critério, fatores, indicadores e índices que contribuem e, em alguns casos, constituem um índice de sustentabilidade ambiental de bacias hidrográficas. Podemos destacar os seguintes índices/indicadores mais frequentes na composição de índices de sustentabilidade ambiental de bacias hidrográficas: índice de cobertura vegetal natural (%); índice de abastecimento urbano/rural de coleta de esgotos (%); índice de tratamento de esgoto coletado (%); índice de cobertura de drenagem urbana (% área); índice de população urbana/rural atendida com coleta de lixo (%); índice de Falkenmark (m<sup>3</sup> recursos renováveis/hab/ano); índice de susceptibilidade do solo à erosão (% de área atingida); densidade populacional urbana e rural (hab/km<sup>2</sup>); índice de qualidade da água – IQA; taxa de lixo coletado (%); taxa de lixo corretamente disposto na bacia (%); índice de risco de acidentes de transporte de cargas poluentes; coeficiente de escoamento superficial; indicador de área impermeabilizada; porcentagem da bacia ocupada com atividade agrícola (%); índice de captação de água para irrigação (m<sup>3</sup>/ hab); índice de urbanização (%/ano); entre outros.

Segundo o IPEA/FJP/PNUD (1998), “um índice envolve o problema da ponderação dos indicadores, o que, em última instância, envolve algum juízo de valor. Significa dizer que os pesos atribuídos aos indicadores não são neutros e envolvem, necessariamente, a introdução de algum nível de arbítrio”.

Segundo Canter (1996), os riscos da simplificação gerados pela agregação de variáveis em indicadores e posteriormente na constituição de um índice podem ser minimizadas por “uma seleção criteriosa dos indicadores e uma interpretação comparativa dos resultados”.

Benetti (2006), Magalhães-Júnior (2007), UNESCO (2007), Chaves & Alipaz (2007), dentre outros autores, avaliam que um índice de desenvolvimento sustentável de recursos hídricos deve ser baseado na integração de indicadores em quatro dimensões: da natureza; econômica; social e institucional. Para constituição do Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (ISBH), proposto nesta pesquisa, integrou-se indicadores nas seguintes dimensões: Ambiental, de Qualidade da Água, Socioeconômica e Político institucional.

A dimensão ambiental abrange, conceitualmente e, de certo modo também na prática, a dimensão de qualidade da água. No entanto, sob a justificativa de conferir maior peso aos fatores relacionados à qualidade da água, uma vez que estamos tratando de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas, optou-se por se elevar ao status de dimensão o conjunto de indicadores de qualidade da água.

Desta forma, a dimensão de qualidade de água, mesmo podendo estar inserida na dimensão ambiental, no caso do índice proposto compõe uma dimensão própria. Entende-se que a qualidade da água reflete o grau de sustentabilidade do conjunto de ações e atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica, devendo assim compor uma dimensão do ISBH.

Para o cálculo ISBH considerou-se o mesmo peso entre as dimensões envolvidas no índice. Cada indicador representante das dimensões envolvidas na fórmula variam na escala de 0 a 1, onde 0 indica a pior situação do indicador e 1 a melhor. Desta forma, a fórmula (1) representa o valor adimensional do ISBH.

$$\text{ISBH} = \{DA (0-1) + DQ (0-1) + DS (0-1) + DP (0-1)\}/4 \quad (1)$$

Onde:

(DA) = Indicador da dimensão Ambiental

(DQ) = Indicador da dimensão de Qualidade da Água

(DS) = Indicador da dimensão Socioeconômico

(DP) = Indicador da dimensão Político institucional

Para Magalhães-Júnior (2007) a funcionalidade de um índice depende da seleção dos indicadores que o compõem e da estruturação e organização desses indicadores em uma rede hierárquica, como por exemplo: sistema, subsistema, dimensões e indicadores. A estruturação do ISBH segue a organização composta por: variáveis básicas; indicadores; dimensões e índice. A tabela 04 resume a rede hierárquica do ISBH.

Tabela 04. Organização hierárquica dos componentes do ISBH

<b>Componentes do ISBH</b>	<b>Características</b>
Índice	Representa a integração equitativa das dimensões do ISBH
Dimensão	As dimensões que compõem o ISBH são representadas pela equação dos indicadores
Indicador	Representam os fatores que compõem as dimensões.
Variável básica	Constitui a base de dados que compõe os indicadores

Todas as informação (variáveis básicas, indicadores e dimensões) que compõe o ISBH foram estruturadas em planos de informação PI's que associados em ambiente SIG originaram um banco de informações temáticas e cadastrais.

Segundo Câmara et. al. (2001) os programas de SIG apresentam alta capacidade de associar um banco de dados geográficos com banco de informações cadastrais, na qual estão integradas tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e análise de dados. Desta forma, as equações, interpolações e comparações utilizadas na construção do ISBH foram realizadas em ambiente SIG.

A composição e o cálculo do ISBH são apresentados nas partes subseqüentes desse capítulo. No entanto, a tabela 05, a seguir, resume as dimensões, indicadores e variáveis básicas de constituem o ISBH.

Tabela 05. Resumo do cálculo do ISBH.

Índice	Dimensões	Indicadores e variáveis básicas
	Dimensão Ambiental (DA)	CV = Indicador de Cobertura Vegetal RE = Indicador de Risco de Erosão
	DA = { CV (0-1) + RE (0-1) + DE (0-1) + AI (0-1) } / 4	De = Indicador Densidade de Estradas AI = Indicador de Área Impermeabilizada
Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas	Dimensão de Qualidade da Água (DQ)	SIQA = Indicador referente ao Índice de Qualidade da Água
	DQ = { SIQA (0-1) + T(0-1) } / 2	T = Indicador de Turbidez (Turbidez média + Turbidez máxima / 2)
ISBH = { DA (0-1) + DA (0-1) + DS (0-1) + DP (0-1) } / 4		R = Indicador de Renda
	Dimensão Sócio-econômico (DS)	Ed = Indicador de Educação (grau de analfabetismo + porcentagem da população com 2 grau completo / 2)
	DS = { R (0-1) + Ed (0-1) + SP (0-1) } / 3	SP = Saúde Pública (porcentagem da população atendida com sistema de esgotamento sanitário + porcentagem da população atendida com sistema de abastecimento de água / 2)
	Dimensão Político Institucional (DP)	TUE = Indicador de Taxa de Urbanização do Entorno da microbacia
	DP = { TUE(0-1) + IAPP (0-1) + CUC (0-1) } / 3	IAPP = Indicador de Integridade de Área de Preservação Permanente CUC = Indicador de cobertura por unidade de Conservação

O fluxograma apresentado a seguir, figura 06, objetiva facilitar a visualização do ISBH, destacando as dimensões, indicadores e variáveis básicas que o compõem.

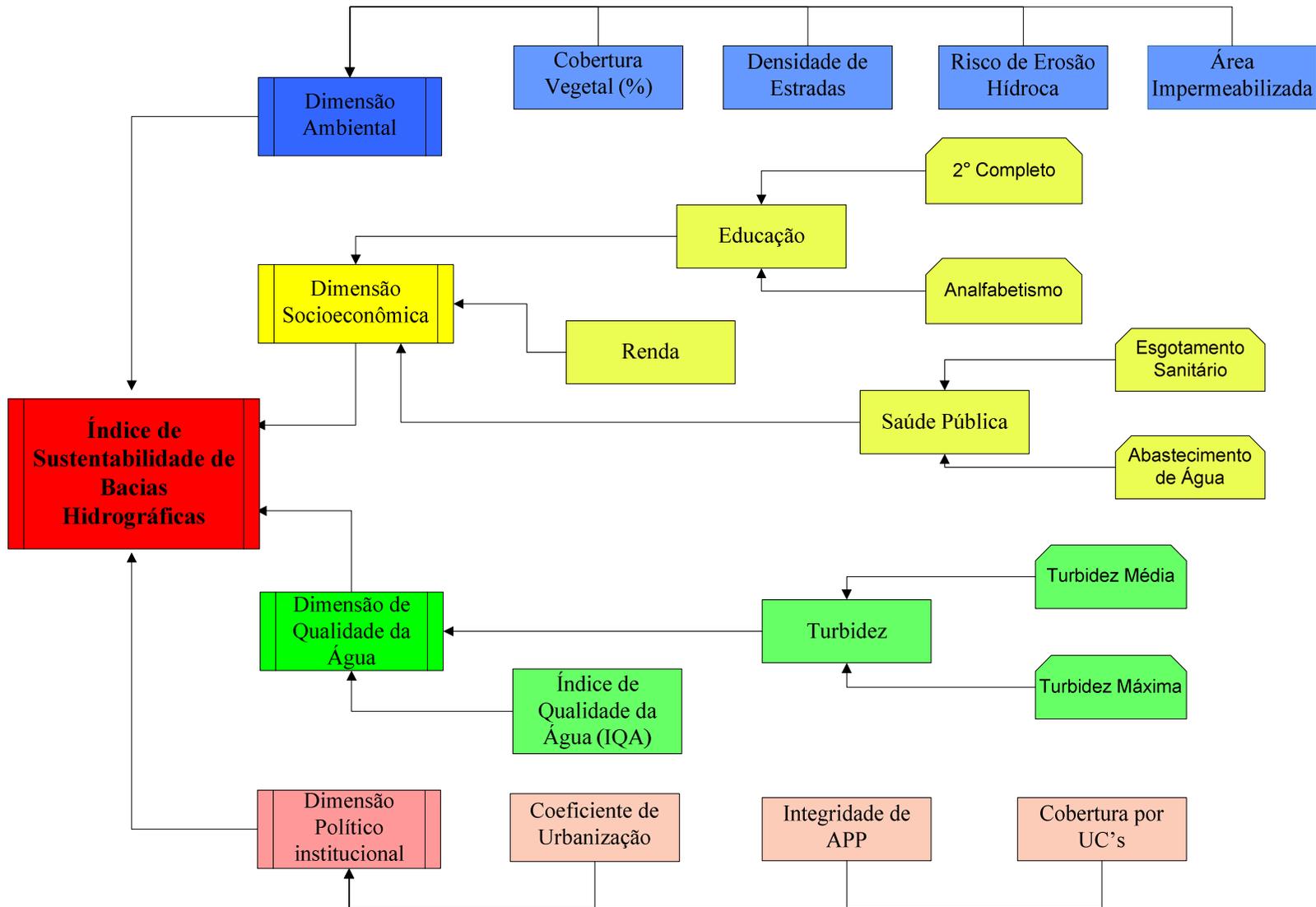


Figura 06. Fluxograma representando as dimensões, indicadores e variáveis básicas que compõem o ISBH.

## 5.1. DIMENSÃO AMBIENTAL

A dimensão ambiental do ISBH é composta pelos indicadores: cobertura vegetal; risco de erosão; densidade de estradas; e área impermeabilizada na microbacia.

O cálculo da dimensão ambiental consiste na soma de cada um dos indicadores, que variam de 0 a 1 (onde 0 representa a pior condição do indicador e 1 a melhor) e divisão do total por 4. A fórmula (2) apresenta o cálculo do indicador representante da dimensão ambiental do ISBH.

$$DA = \{CV (0-1) + RE (0-1) + De (0-1) + AI (0-1)\}/4 \quad (2)$$

Onde:

(DA) = Dimensão Ambiental

(CV) = Indicador de Cobertura Vegetal

(RE) = Indicador de Risco de Erosão

(De) = Indicador de Densidade de Estradas

(AI) = Indicador de Área Impermeabilizada

### 5.1.1. Indicador de Cobertura Vegetal

Segundo Meirelles et al. (2005), a presença da cobertura vegetal em uma determinada área minimiza o risco de impacto erosivo, servindo como uma camada de proteção para o solo contra o impacto da chuva e como fonte de matéria orgânica e biomassa que retém umidade e promove a agregação do solo. Além disso, a velocidade de escoamento da água da chuva na superfície do solo é diminuída devido à presença da vegetação, que atua como um obstáculo ao escoamento. Rhodes et al. (2001), afirma que bacias com maiores proporções de cobertura vegetal e áreas ripárias protegidas apresentam melhor qualidade de água.

Em pesquisa realizada por Bacellar (2006) sobre o papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas, foi constatado que a redução da cobertura vegetal influencia negativamente a disponibilidade hídrica. Solos sob florestas se caracterizam por expressiva camada de resíduos vegetais (serrapilheira) e por um horizonte A rico em matéria orgânica. A matéria orgânica é comprovadamente eficiente para manter os agregados do solo, preservando sua porosidade (BERTONI e LOMBARDI NETTO 1993). Portanto, solos sob cobertura vegetal normalmente apresentam significativa

porosidade, especialmente macroporosidade, proporcionada por raízes mortas e cavidades de animais. Os macroporos são importantes por facilitar a infiltração e a recarga da água, sobretudo em solos argilosos, que de outra forma seriam pouco permeáveis. Portanto, a capacidade de infiltração normalmente é muito mais expressiva em áreas sob cobertura vegetal que em pastagens e culturas agrícolas.

Na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação sendo quase todos obtidos de medidas da reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Os dois tipos mais comumente utilizados, no entanto, são: Razão Simples e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (MOREIRA e SHIMABUKURO, 2004).

Os índices de vegetação espectrais são relacionados com a quantidade de folhas verdes numa determinada área. Esta característica dos índices de vegetação permite o desenvolvimento de estudos da dinâmica da vegetação. No entanto, em regiões onde ocorre variação sazonal, com o comprometimento da estimativa da quantidade de folhas verdes, os índices apresentam maior valor como indicadores desta sazonalidade (Batista et al., 1997).

Como o clima predominante na região estudada, segundo a classificação de Köppen é “tropical de Savana”, caracterizado por uma estação chuvosa, representando 84% do total anual, em contraponto com uma estação seca com precipitação de somente 2% do total anual, optou-se pela adoção de uma metodologia que envolvesse além da classificação espectral da vegetação, a análise da porcentagem de cobertura vegetal por classe de uso e ocupação do solo.

Outro fator que contribuiu para o desenvolvimento de uma metodologia diferenciada para o indicador de cobertura vegetal, refere-se às imagens de satélite utilizadas na análise temporal do ISBH. Como os satélites imageadores adotados nesta pesquisa são de programas espaciais diferentes, as resoluções espaciais e espectrais não são compatíveis podendo comprometer a confiabilidade dos dados.

Sendo assim, o indicador adotado para cobertura vegetal foi definido através do cálculo da porcentagem de cobertura vegetal por classe de uso e ocupação do solo. Essa porcentagem foi definida através da classificação supervisionada por máxima verossimilhança das imagens Landsat para o ano de 1984, SPOT para o ano de 1995 e fusão de imagem SPOT (banda pancromática) de 2004 com CEBRS de 2006 para o ano de 2006, o software utilizado foi o ENVI® Versão 4.3. O resultado da porcentagem

média de cobertura vegetal por classe de uso e ocupação do solo está apresentado na tabela 06.

Tabela 06. Porcentagem de cobertura vegetal (CV) por classe de uso e ocupação do solo

<b>Classe de uso e ocupação do solo</b>	<b>Porcentagem media de CV</b>
Consolidado alta densidade	1 %
Área degradada/estradas	3 %
Consolidada baixa densidade	27 %
Parcelamento urbano	39 %
Regeneração inicial	42 %
Área de agricultura maior que 20 hectares	44 %
Área de agricultura menor que 20 hectares	51 %
Parcelamento rural	58 %
Reflorestamento	77 %
Regeneração avançada	84 %
Vegetação Nativa	99 %

Desta forma, o indicador de cobertura vegetal integra duas metodologias: de classificação espectral da vegetação (método consagrado na literatura); com a metodologia utilizada para definição das classes de uso e ocupação do solo dos anos 1986, 1995 e 2006 (descrita no item 4.3).

A pontuação definida para o indicador de cobertura vegetal está apresentada na tabela 07.

Tabela 07. Pontuação do indicador cobertura vegetal.

<b>Porcentagem de cobertura vegetal (CV)</b>	<b>Pontuação</b>
CV >90	1
$90 \geq CV > 80$	0.8
$80 \geq CV > 70$	0.6
$70 \geq CV > 60$	0.4
$60 \geq CV > 50$	0.2
CV $\leq$ 50	0

### 5.1.2. Indicador de Risco de Erosão

Os processos erosivos ocorrem naturalmente e de forma lenta e gradual no meio ambiente, causando, no decorrer da evolução do globo terrestre, mudanças no relevo e na vegetação (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). A intervenção humana acelera esses processos erosivos por meio da ocupação e uso intensivo do solo. A erosão originária das atividades antrópicas, identificada como erosão acelerada, remove paulatinamente as camadas superficiais do solo, chegando a formar sulcos e ravinas, quando o escoamento da água é torrencial.

Para Tomazoni et al. (2005a), a erosão hídrica é resultante da ação de diversos fenômenos que modificam as condições normais de uma bacia. Para esses autores as atividades antrópicas não controladas sobre o meio ambiente são os principais fatores que aceleram o processo erosivo, pois ao retirar a cobertura vegetal para introduzir lavouras, construir estradas, realizar obras de terraplanagens, obras fluviais, etc., o homem contribui decisivamente para a maior desagregação de sólidos e, conseqüentemente, para o maior transporte desse material até os cursos d'água.

Como já foi comentado anteriormente o crescimento das cidades, acentuado nas últimas décadas, vem tornando a água um recurso escasso. A intensificação do uso e ocupação, acompanhados do crescimento populacional ocorre normalmente associada com um aumento da intensidade do processo erosivo (PEDRO e LORANDI, 2004). Para Baptista (1997) a erosão em áreas de expansão urbanas brasileiras é conseqüência de diversos fatores, como a intensidade das chuvas, a topografia, o manejo dos solos e as práticas conservacionistas.

Segundo Pedro e Lorandi (2004), embora os processos erosivos sejam estudados em vários países, seus mecanismos ativadores são variáveis e específicos para cada região, que são dependentes de uma gama de fatores naturais, tais como o clima, as condições de relevo, a natureza do terreno (substrato rochoso e materiais inconsolidados) e a cobertura vegetal. Para este autor as práticas de conservação do solo, os métodos de avaliação de impactos ambientais e de perdas de solo, são ferramentas de grande uso no planejamento ambiental.

Diversos autores relacionam os processos erosivos com a degradação dos recursos hídricos (SILVA et al., 2003; PEDRO e LORANDI, 2004; MARCOMIN, 2002; TOMAZONI & GUIMARÃES, 2005; SANTOS et. al., 2006; OLIVEIRA et. al., 2007; RIBEIRO & ALVES, 2007). Esses autores adotaram Equação Universal de Perdas de

Solos (EUPS), normalmente acompanhada de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como ferramentas para quantificar a perda de solo por erosão hídrica e principalmente para identificar as áreas com potencial de erosão.

A EUPS foi proposta por Wischmeier e Smith (1978) e adaptada para realidade brasileira por Bertoni e Lombardi Neto (1990). A equação permite uma análise da perda de solo levando em conta a intensidade da chuva na região, a erodibilidade dos solos, o comprimento da encosta, o declive e as medidas de uso e conservação do solo (TOMAZONI et al. 2005a).

Por meio da EUPS é possível estimar o Potencial Natural de Erosão – PNE do solo. Pedro e Lorandi (2004) adotaram o PNE, para avaliação do risco de degradação das terras na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu, em São Paulo. Marcomin (2002) fazendo uma análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Pinheiros, em Santa Catarina, também utilizou o PNE para caracterizar diferentes regiões de perda de solo por erosão laminar usando cinco classes distintas.

Neste trabalho, por meio das informações de perda de solo obtidas dos resultados da aplicação da EUPS, obteve-se o indicador de risco de erosão das microbacias. O indicador reflete a porcentagem da bacia com perdas de solo nas classes: moderada a forte; forte; muito forte; ou extrema (tabela 08). Essas classes foram definidas no trabalho de Ribeiro e Alves (2007).

Tabela 08. Perda de solo anual por erosão laminar.

<b>Classes</b>	<b>Perda de Solo (t/ha/ano)</b>
Muito baixa	0 – 1
Baixa	1 – 10
Baixa a moderada	10 – 50
Moderada	50 – 100
Moderada a forte	100 – 500
Forte	500 – 1.000
Muito forte	1.000 – 5.000
Extrema	> 5.000

Fonte: Ribeiro e Alves (2007).

As classes adotadas indicam que acima de 100 (t/ha/ano), as perdas de solo por erosão laminar são consideradas preocupantes (TOMAZONI e GUIMARÃES, 2005; SANTOS et al., 2006; OLIVEIRA et. al., 2007; RIBEIRO e ALVES, 2007). Desta

forma, conforme descrito na tabela 09, foi atribuída pontuação de 0 a 1 para o indicador de risco de erosão hídrica, onde zero corresponde a mais de 10% da bacia com perda de solo por erosão laminar acima de 100 (t/ha/ano) e 1 menos de 2% da bacia nas mesmas condições.

Tabela 09. Pontuação do indicador risco de erosão.

<b>Porcentagem da bacia com perda de solo (PS) acima de 100 (t/ha/ano)</b>	<b>Pontuação</b>
PS > 12	0
12 ≥ PS > 9	0.2
9 ≥ PS > 6	0.4
6 ≥ PS > 4	0.6
4 ≥ PS > 2	0.8
PS ≤ 2	1

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) adotada neste estudo foi desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), modificada por Bertoni e Lombardi Neto (1993), e é expressa genericamente pela fórmula (3) a seguir:

$$A = R.K.(L.S).(C.P) \quad (3)$$

Onde:

(A) = perda de solo acumulada por unidade de área, em t/(ha.ano);

(R) = fator de erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h.ano);

(K) = corresponde ao fator erodibilidade do solo, em t.h/(MJ.mm);

(L) = fator comprimento de rampa, em metros;

(S) = fator inclinação da encosta, em porcentagem;

(C) = fator de uso e manejo do solo (adimensional);

(P) = fator prática conservacionista (adimensional).

O cálculo da EUPS foi realizado com base no banco de dados desenvolvido para esta pesquisa em ambiente SIG. A modelagem de um banco de dados de um SIG consiste, principalmente, na definição de planos de informação (PI), também denominados de níveis ou camadas (*layers*). Os PI's variam em número, tipos de formatos e de temas, conforme as necessidades de cada tarefa ou estudo (Câmara et al., 2001).

Para se chegar ao PI de perda de solo anual (A), foram gerados PI's para a cada variável descrita pela equação. No caso das variáveis uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P), optou-se pela combinação das variáveis e constituição de um único PI (CP) descrito a seguir.

O fator erosividade da chuva (R) expressa a capacidade da chuva, de uma dada localidade, causar erosão em uma área sem proteção. Esse fator é determinado pela soma dos valores mensais dos índices de erosividade (EI), os quais foram determinados conforme proposto por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), formula (4) a seguir.

$$EI = 68,730(r^2 / P)^{0,841} \quad (4)$$

Onde:

EI = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h.ano);

r = precipitação média mensal, em milímetros;

P = precipitação média anual, em milímetros.

Os dados de precipitação adotados tiveram como base os dados das estações pluviométricas da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Para elaboração do PI erosividade da chuva (R), utilizou-se ainda a metodologia descrita por Gonçalves (2007) para elaboração de mapa de isoetas.

A erodibilidade do solo (fator K) é a propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade á erosão , podendo ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993), as diferenças relacionadas ás propriedades do solo permitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros ainda que variáveis como chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas. Ainda de acordo com esses autores as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aqueles que afetam a infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pelo escoamento.

A erodibilidade do solo tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas e é expresso como a perda de solo por unidade de índice de erosão da chuva (EI) Bertoni e Lombardi Neto (1993). De acordo com Baptista (1997), esse fator pode ser determinado experimentalmente, em condições específicas

de declividade e comprimento de rampa, ou de forma indireta por meio de um nomograma desenvolvido por Wischmeier et al.,(1971) apud Baptista (1997).

O PI de erodibilidade do solo (K) foi constituído a partir de um PI formado pelo mapa de reconhecimento de solos do Distrito Federal (EMBRAPA, 1978), correlacionando-se as classes de solo com os valores adotados para o fator K. Os valores de K estão de acordo com os trabalhos de Baptista (1997) e Ribeiro & Alves (2007), e são apresentados na tabela 10.

Tabela 10. Valores da erodibilidade do solo (fator K) e fonte dos dados

<b>Tipo de solo</b>	<b>Erodibilidade t.h/(MJ.mm)</b>	<b>Fonte</b>
Latossolo vermelho-amarelo	0.020	Ribeiro e Alves, 2007
Latossolo vermelho-escuro	0.013	Baptista, 1997
Solos hidromorficos	0.031	Baptista, 1997
Cambissolo	0.025	Ribeiro e Alves, 2007
Podzólico vermelho-amarelo	0.030	Baptista, 1997
Areias quartzosas	0.027	Baptista, 1997

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1993), o fator uso e manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno cultivado e em um terreno desprotegido. A redução da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo entre outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo.

O mesmo autor considera que o fator práticas conservacionistas (P), refere-se a relação entre a intensidade esperada de perda de solo com determinada prática conservacionista, a exemplo de plantios em curva de nível, plantio direto, entre outros.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993), se o que se pretende é adequar as formas de produção agrícola de maneira a minimizar os efeitos negativos causados no meio físico, as variáveis antrópicas da EUPS devem ser tratadas separadamente. Mas se o objetivo da pesquisa é espacializar fenômenos por meio do geoprocessamento, a obtenção dos dados de C e P podem ser analisados de forma integrada em função do uso e ocupação do solo. Neste caso, adota-se o fator  $P=1$ , como sendo uma constante, por representar a pior situação de perdas de solo em função de práticas conservacionistas.

Santos et al. (2006) considera os fatores C e P como a participação antrópica nos cálculos da EUPS e também considera possível a combinação das duas variáveis. Neste trabalho optou-se por seguir a metodologia sugerida por Santos et. al (2006) e apontada

como possível por Bertoni e Lombardi Neto (1993), onde os fatores C e P são combinados em um único PI, CP.

Os valores adotados para CP foram adaptados dos Brito et. al. (1998), Tomazoni et. al. (2005a), Ribeiro e Alves (2007) e Oliveira et. al. 2007. Em alguns casos estes trabalhos apresentam os valores separados de C e P, neste caso adotou-se o fator P = 1. Na tabela 11 estão listadas as classes de usos e ocupação do solo, os valores do fator CP e os autores dos quais este fator foi adotado ou adaptado.

Tabela 11. Classes de uso e ocupação do solo, valores do fator CP e fonte dos dados.

<b>Classe de uso e ocupação do solo</b>	<b>Fator CP</b>	<b>Fonte</b>
Consolidada alta densidade	0	Brito et. al. 1998
Regeneração avançada	0.001	Tomazoni et. al. 2005a
Pastagem/regeneração inicial	0.01	Tomazoni et. al. 2005a
Agrícola grande porte < 20 ha	0.1375	Tomazoni et. al. 2005a
Consolidada baixa densidade	0.5	Ribeiro e Alves 2007, adaptado
Consolidação/parcelamento. urbano	0.5	Ribeiro e Alves 2007, adaptado
Pastagem degradada	0.505	Ribeiro e Alves 2007, adaptado
Solo exposto/estradas	0.8	Ribeiro e Alves 2007
Vegetação nativa (Clímax)	0.0004	Oliveira et. al. 2007
Reflorestamento	0.0489	Oliveira et. al. 2007
Chácaras/parcelamento rural	0.3	Brito et. al. 1998
Agrícola pequeno porte > 20 ha	0.2	Brito et. al. 1998
Parcelamento urbano	0.3	Brito et. al. 1998

Santos et. al. (2006) destaca ainda que os menores valores de CP estão relacionados com as áreas onde se espera menores perdas de solos, e os valores mais altos indicam a expectativa de perdas de solos mais elevadas, refletindo usos com cultivos que oferecem menor proteção.

Os Planos de Informação de comprimento de rampa (L) e declividade (S) foram obtidos separadamente, mas para facilitar a aplicação na EUPS foram integrados, compondo o PI fator topográfico (LS), conforme formula (5) publicada por Bertoni e Lombardi Neto (1993) e apresentada abaixo.

$$LS = 0.00984.L^{0,63}.S^{1,18} \quad (5)$$

Onde:

LS = Fator topográfico

L - Comprimento de rampa, em metros;

S – declividade, em porcentagem.

Bertoni e Lombardi Neto (1993) definem o fator (LS) como sendo “a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive”.

A determinação do fator comprimento de rampa (L) e da declividade (S) seguiram a metodologia descrita por Tomazoni e Guimarães (2005). O software utilizado para formação desses Planos de Informação foi o SPRING 4.2.

### 5.1.3. Indicador Densidade de Estradas

As estradas brasileiras, de maneira geral, são construídas sem observância dos preceitos básicos de conservação e alocação (MEIRELLES, 2002). A ocorrência de estradas mal planejadas e sem conservação (caixas de contenção, ações de prevenção à erosão, etc.), é comum em algumas das microbacias escolhidas para este estudo.

Segundo relatos da área de operação do sistema de abastecimento de água da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), as estradas rurais (de terra) e pavimentadas são uma das principais causas de alteração nos parâmetros cor e turbidez da água.

Segundo trabalho de Seixas e Magro (1998), quando foram analisados indicadores ambientais relacionados às operações florestais, a densidade de estradas foi apontada como um valioso indicador dos impactos das atividades florestais sobre o meio ambiente, notadamente os recursos hídricos.

As estradas podem ser correlacionadas diretamente com o impacto erosivo, já que uma maior quantidade de estradas aumenta as oportunidades para escoamento das águas, com uma velocidade maior e aumentando, portanto, o aporte de sedimentos aos cursos de água (MEIRELLES, 2005).

Considerando os impactos diretos e indiretos das estradas sobre os recursos hídricos e a deficiência do poder público em implementar e executar a manutenção

periódica das estradas do país, que se optou pela adoção de um indicador de densidade de estradas para o ISBH.

Para o cálculo da densidade de estradas adotou-se a fórmula (6), apresentada a seguir.

$$De = L / Am \quad (6)$$

Onde:

De = densidade de estradas;

L = comprimento total de estradas dentro da microbacia, em Km;

Am = área da microbacia em Km<sup>2</sup>

Para definição do comprimento das estradas adotou-se uma correção para as estradas asfaltadas em relação às estradas de terra. Essa correção deve-se ao fato da área necessária para implementação das estradas asfaltadas ser maior, ou seja, maior área impermeável e maior movimentação do terreno para construção das estradas asfaltadas. Sendo assim, para o cálculo do comprimento de estradas na microbacia adotou-se a soma do comprimento das estradas de terra com a soma do comprimento das estradas de asfalto multiplicada pelo fator de correção 1.5.

Desta forma, o comprimento total de estradas dentro da microbacia “L” segue a fórmula 7 abaixo:

$$L = \sum(ET) + \sum(EA * 1.5) \quad (7)$$

Onde:

L = comprimento total de estradas dentro da microbacia, em Km;

ET = comprimento das estradas de terra em Km;

EA = comprimento das estradas de asfalto em Km;

1.5 = fator de correção das estradas de asfalto em relação às estradas de terra.

Os cálculos do indicador de densidade de estradas foi desenvolvido em ambiente SIG, por meio do software ArcGis 9.2. A tabela 12, a seguir, apresenta a pontuação adotada para o indicador em questão.

Tabela 12. Pontuação do indicador de densidade de estradas.

Densidade de Estradas (De)	Pontuação
$DE \leq 2$	1
$2 < DE \leq 2.5$	0.8
$2.5 < DE \leq 3$	0.6
$3 < DE \leq 4$	0.4
$4 < DE \leq 5$	0.2
$DE > 5$	0

#### 5.1.4. Indicador de Área impermeabilizada

Diversos estudos têm abordado os efeitos das ações antrópicas negativas ao meio ambiente, relacionando o processo de urbanização, o aumento das áreas impermeabilizadas dos solos das bacias hidrográficas e a ocupação de margens de rios e de encostas com a interferência negativa nos processos hidrológicos, contribuindo para o agravamento de inundações e dificultando a manutenção dos ecossistemas naturais hídricos, além do aumento da poluição e outros impactos indiretos.

A questão da impermeabilização do solo tem sido registrada freqüentemente na legislação urbanística, nos processos de planejamento urbano e na gestão dos recursos hídricos, bem como em diversos trabalhos que discutem o assunto e que o relacionam aos efeitos e impactos diretos e indiretos no regime hidrológico e no equilíbrio do meio ambiente, ressaltando assim a sua importância como indicador de sustentabilidade (KAUFFMANN et. al. 2004).

Estudos como os de Smith (2000), Sleavin et. al. (2000), Costa et. al. (2005), e Freitas et al. (2006) relacionam diretamente o percentual de área impermeabilizada de bacias hidrográficas à qualidade da água e o grau de poluição dos recursos hídricos. Tucci (1997) define área impermeável como a área que não permite infiltração da água da chuva, significando que a água precipitada sobre a mesma escoar diretamente para a rede pluvial.

Kauffmann et. al. (2004) conclui em estudo sobre Taxa de Impermeabilização (TI) do solo que a importância da TI tanto para a concretização da utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, na medida em que a TI está vinculada à área total da bacia, como para o estudo dos efeitos do aumento da impermeabilização da superfície da bacia nos sistemas de recursos hídricos. O trabalho de Kauffmann et al (2004), confere ainda vantagens na utilização da TI como indicador de sustentabilidade,

e no favorecimento da adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento integrado, e permitindo inclusive a identificação objetiva dos efeitos das alterações das taxas de impermeabilização com os impactos sobre os recursos hídricos.

A área impermeável nesta pesquisa foi obtida, diretamente do levantamento de uso e ocupação do Solo, por meio da determinação da porcentagem média de área impermeável por classe de uso e ocupação do solo.

O software utilizado foi o ENVI®, versão 4.3 para classificação Supervisionada, pelo método da máxima verossimilhança. Nesse processo foram definidas classes de áreas não impermeáveis, como vegetação nativa e reflorestamento, e classes de áreas sabidamente impermeáveis, como áreas urbanas de alta densidade e estradas asfaltadas. Por meio de amostras escolhidas manualmente das classes supracitadas, o software processa as informações e apresenta um PI em formato *raster* das áreas impermeáveis dentro da microbacia. Em seguida, já no software ArcGis 9.2, o arquivo *raster* é vetorizado, permitindo por meio de interpolação com o PI de uso e ocupação do solo a determinação quantidade da área impermeável para cada classe de uso e ocupação do solo.

Os valores de área impermeável por classe de uso e ocupação do solo, apresentados na tabela 13, estão de acordo com os valores encontrados por Valério Filho et al (2003) e Tucci (1997).

Tabela 13. Classes de uso e ocupação do solo com as respectivas porcentagens de área impermeabilizada.

<b>Classes de uso e ocupação</b>	<b>Porcentagem de área impermeabilizada</b>
Consolidada alta densidade	91%
Consolidada baixa densidade	55%
Consolidação/parcelamento urbano	37%
Solo exposto/estradas	59%
Pastagem degradada	23%
Chácaras/parcelamento rural	20%
Agrícola grande porte < que 20 hectares	18%
Agrícola pequeno porte > que 20 hectares	17%
Pastagem/regeneração inicial	15%
Regeneração avançada	2%
Reflorestamento	4%
Vegetação nativa	0.5%

Para o indicador de área impermeabilizada foi conferida pontuação conforme tabela 14, para o total de área impermeabilizada em cada microbacia. Essa porcentagem foi calculada pela divisão da área total da microbacia pela soma de áreas impermeabilizadas de cada classe de uso e ocupação do solo.

Tabela 14. Pontuação do indicador de área impermeabilizada.

Área impermeabilizada (AI) em %	Pontuação
$AI \leq 5$	1
$5 < AI \leq 8$	0.8
$8 < AI \leq 12$	0.6
$12 < AI \leq 15$	0.4
$15 < AI \leq 20$	0.2
$AI > 20$	0

## 5.2. DIMENSÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA

A dimensão de qualidade de água do ISBH é composta pelo indicador Índice de Qualidade da Água (IQA) e pelo indicador de turbidez.

O cálculo da dimensão de qualidade da água consiste na média aritmética entre o indicador turbidez e o indicador IQA. O valor dessa dimensão varia de 0 a 1, onde 0 representa a pior condição dos indicadores e 1 a melhor. A fórmula (8) representa o cálculo do indicador representante da dimensão hidrológica do ISBH.

$$DQ = \{IQA (0-1) + T(0-1)\}/2 \quad (8)$$

Onde:

(DQ) = Dimensão de Qualidade da Água

(IQA) = Indicador Índice de Qualidade da Água

(T) = Indicador de Turbidez

### 5.2.1. Indicador Índice de Qualidade da Água (IQA)

Para Bilich e Lacerda (2005), a qualidade da água é um termo que não se restringe unicamente à determinação da pureza da mesma, mas às suas características desejadas para os seus diversos usos. Tanto as características físicas, químicas como as biológicas

da água podem ser alteradas. Na maioria dos casos essa alteração é causada ou intensificada pela ação antrópica.

A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) coleta regularmente dados referentes à qualidade da água dos mananciais do DF. Estes dados permitem o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) desenvolvido para análise da qualidade da água captada. Bilich e Lacerda (2005), através de técnicas de geoprocessamento, adotou esse índice numa avaliação temporal da qualidade da água nas captações do DF.

O resultado dessa pesquisa indicou uma variação na qualidade da água de acordo com o período do ano (seco e chuvoso) e uma queda na qualidade da água de alguns mananciais do DF na última década. Apesar de ser indiscutível a relevância do IQA, uma avaliação mais ampla, envolvendo a integridade da bacia hidrográfica, deve ser considerada para identificação dos agentes causadores das mudanças da qualidade da água.

Devido à complexidade deste tipo de avaliação, são necessárias ações de pesquisa que associem diferentes procedimentos metodológicos e resultem em indicadores do grau de instabilidade ou resistência de bacias hidrográficas ao processo uso e ocupação do solo e manutenção da qualidade de suas águas. Diferentes ações de pesquisa têm sido e estão sendo implementadas com esse objetivo. São estudos comprometidos com a elaboração de ferramentas e indicadores que permitam diagnosticar os padrões e a intensidade do uso do solo e prognosticar possíveis alterações degenerativas em bacias hidrográficas localizadas em áreas de expansão urbana (FERREIRA & MORETI, 1998, MAGALHÃES-JÚNIOR et al, 2003, SILVA et al, 2004, MEIRELLES et al, 2005 e TAVARES et al 2003).

Os estudos citados acima, assim como esta pesquisa, consideram o IQA uma variável relevante para composição de índices e indicadores de sustentabilidade e recursos hídricos. O IQA adotado nessa pesquisa foi calculado conforme fórmula proposta pela CAESB, que considera os seguintes parâmetros da água: temperatura (°C); cor (uH); PH; condutividade (us/cm); Alcalinidade (mg/l); CO<sub>2</sub> dissolvido (mg/l); DQO (mg/l); Cloreto (mg/l); NH<sub>3</sub> (mg/l); Ferro (Fe) total (mg/l); SDT(mg/l); SS (mg/l); Nitrogênio (N) total (mg/l); Fósforo (P) total (mg/l); OD (mg/l); Ferro (Fe) Solúvel (mg/l); NO<sub>3</sub> (mg/l); Sulfato (mg/l); Sulfeto (mg/l); Coli total (NMP/100ml); e Coli Term. (NMP/100ml).

O ponto de coleta de água para o cálculo do IQA coincide com o ponto de captação operada pela CAESB em cada microbacia estudada. Como já foi dito as microbacias estudadas foram traçadas a partir do ponto de captação da CAESB, logo o IQA é representativo de toda microbacia. O IQA calculado varia de 0 a 100, no entanto, para composição do ISBH o IQA foi pontuado de 0 a 1 conforme tabela 15, a seguir.

Tabela 15. Pontuação do indicador Índice de Qualidade de Água.

Índice de qualidade da água (IQA)	Pontuação
$IQA > 90$	1
$80 < IQA \leq 90$	0.8
$70 < IQA \leq 80$	0.6
$60 < IQA \leq 70$	0.4
$50 < IQA \leq 60$	0.2
$IQA \leq 50$	0

### 5.2.2. Indicador de Turbidez

Um dos parâmetros físicos da água mais afetados pelo aporte de sedimentos aos cursos d'água é a turbidez. Águas com alta turbidez afetam a entrada de luz na coluna d'água. Não havendo entrada de luz, diminui a taxa de produção primária do ecossistema, afetando toda cadeia alimentar, inclusive com alterações nos padrões de produção e consumo de gases (SILVA et al., 2003).

A turbidez corresponde à redução da transparência da água, ocasionada pelo material em suspensão, que reflete a luz, dificultando a sua passagem pela solução. Segundo Tomazoni et al. (2005b), a quantificação de luz refletida pelas partículas suspensas dá uma ordem de grandeza de sólidos em suspensão na amostra.

Segundo Anido (2002), a turbidez define a alteração na penetração da luz em uma amostra da água causada por partículas em suspensão, material coloidal como argilas, partículas finas tanto de origem orgânica como inorgânica, plâncton e outros organismos microscópicos.

Para Tomazoni et al. (2005b) a turbidez das águas deixou de ser um parâmetro estético para ser correlacionado com a concentração de cloro residual, número de colônias de coliformes fecais totais, casos de hepatite A e Poliometite. Outro aspecto é a correlação da turbidez com a eficácia da desinfecção da água, o que dá a esse parâmetro grande importância sanitária.

Ramos (2005), em estudo da qualidade da água em mananciais que abastecem os municípios da região metropolitana de Florianópolis, constatou que as alterações de ordem física, notadamente a turbidez, tem se destacado como o principal fator de alteração na água. O autor destaca ainda como consequência desse aumento elevado de turbidez o prejuízo no processo de tratamento da água e as possibilidade de interrupção do abastecimento de água.

Outro ponto importante quanto aos valores de turbidez foi levantado em revisão bibliográfica realizada por Tomazoni et al. (2005b), que considera que mesmo em água tratada, pode haver presença de coliformes fecais em turbidez maior que 1 NTU.

O indicador de turbidez é composto por duas leituras do valor de turbidez dos corpos hídricos inseridos nas microbacias estudadas. A primeira leitura refere-se aos valores de turbidez médio nos anos de estudo (1984, 1995, 2006). As pontuação para turbidez media das microbacias está apresentada tabela 16, a seguir.

Tabela 16. Pontuação do indicador de turbidez média.

<b>Turbidez média (Tbmd)</b>	<b>Pontuação</b>
$Tbmd \leq 1$	1
$1 < Tbmd \leq 2$	0.8
$2 < Tbmd \leq 3$	0.6
$3 < Tbmd \leq 4$	0.4
$4 < Tbmd \leq 5$	0.2
$Tbmd > 5$	0

Uma segunda leitura dos valores de turbidez, apresentado na tabela 17, refere-se aos picos de turbidez nos anos estudados, ou seja, os valores máximos de turbidez registrados nesses anos.

Tabela 17. Pontuação do indicador de turbidez máxima.

<b>Turbidez máxima (Tbmx)</b>	<b>Pontuação</b>
$Tbmx \leq 10$	1
$10 < Tbmx \leq 25$	0.8
$25 < Tbmx \leq 50$	0.6
$50 < Tbmx \leq 75$	0.4
$75 < Tbmx \leq 100$	0.2
$Tbmx > 100$	0

Adotou-se duas leituras para os valores de turbidez com objetivo de evitar que apenas os valores médios mascarassem a realidade do estado das microbacias estudadas. Para Anido (2002) certas quantidades de sedimentos em suspensão nos corpos hídricos são naturais na maioria das microbacias, no entanto, picos de turbidez indicam alterações antrópicas mais intensas.

Sendo assim, o valor do indicador de turbidez é o resultado da média aritmética entre a variável básica turbidez média e a variável básica turbidez máxima. A formula (9), apresentada a seguir, representa o cálculo do indicador de turbidez.

$$T = \{Tbmd (0-1) + TbmX (0-1)\}/2 \quad (9)$$

Onde:

(T) = Indicador de Turbidez;

(Tbmd) = Variável básica de turbidez média;

(TbmX) = Variável básica de turbidez máxima.

Vale destacar que a turbidez é um dos parâmetros que compõe o IQA, que constitui um dos indicadores da dimensão de qualidade da água (DQ). No entanto, pelo que foi exposto anteriormente, em especial no que se refere à capacidade da turbidez de refletir o grau de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, esse parâmetro foi escolhido para compor um indicador específico da DQ.

### 5.3. DIMENSÃO SOCIOECONÔMICA

A dimensão socioeconômica do ISBH é composta pelos indicadores: renda; educação e saúde. A composição dessa dimensão apresentou um nível de complexidade maior que as demais dimensões. Essa complexidade deve-se ao fato dos dados socioeconomicos adotados neste estudo serem fruto de estudos e levantamentos realizados sobre limites político-administrativos.

Segundo Linhares (2004) a dificuldade na solução dos problemas que envolvem a degradação das áreas urbanas e seu entorno decorre, principalmente, do fato de que as informações de áreas temáticas que prestam subsídios ao planejamento são produzidas a partir de uma visão fragmentada do ambiente.

As informações socioeconômicas disponíveis estão referenciadas a limites político-administrativos (cidades, bairros, regiões administrativas), enquanto as informações hidrológicas, de bacias hidrográficas, ecossistemas e formações vegetais, por exemplo, estão atreladas a unidades ambientais.

Linhares (2004) considera possível a compatibilização dos dados originados a partir de limites político-administrativos, com o propósito de monitoramento de processos sociais sobre áreas urbanas, com limites baseados em unidades naturais.

Para o cálculo da dimensão socioeconômica do Índice de Sustentabilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas (ISBH) de algumas microbacias do DF foi adotado um procedimento de ponderação dos dados socioeconômicos, originados a partir de levantamentos realizados com base em limites político-administrativos, para a compatibilização com a unidade ambiental (bacias hidrográficas).

Outra questão que dificultou a análise dos dados socioeconômicos, principalmente para realização das análises temporais, foi a constante mudança na poligonal das Regiões Administrativas (RA's). Essas mudanças ocorrem em função da rápida ocupação do território do Distrito Federal, gerando a necessidade do constante monitoramento e redefinição dos limites de suas Regiões Administrativas (RA's). A tabela 18 ilustra a evolução das RA's nos últimos 43 anos.

Tabela 18. Data de criação das Regiões Administrativas do Distrito Federal.

<b>Regiões Administrativas (RA's)</b>	<b>Criação</b>	<b>Data</b>
RA I – Brasília	Lei nº 4.545	10/12/1964
RA II – Gama	Lei nº 4.545	10/12/1964
RA III – Taguatinga	Lei nº 4.545	10/12/1964
RA IV – Brazlândia	Lei nº 4.545	10/12/1964
RA V – Sobradinho	Lei nº 4.545	10/12/1964
RA VI – Planaltina	Lei nº 4.545	10/12/1964
RA VII – Paranoá	Lei nº 4.545	10/12/1964
RA VIII – Núcleo Bandeirante	Lei nº 049	25/10/1989
RA IX – Ceilândia	Lei nº 049	25/10/1989
RA X – Guará	Lei nº 049	25/10/1989
RA XI – Cruzeiro	Lei nº 049	25/10/1989
RA XII – Samambaia	Lei nº 049	25/10/1989
RA XIII – Santa Maria	Lei nº 348	04/11/1992
RA XIV – São Sebastião	Lei nº 705	10/05/1994
RA XV – Recanto das Emas	Lei nº 510	28/07/1993
RA XVI – Lago Sul	Lei nº 643	10/01/1994
RA XVII – Riacho Fundo	Lei nº 620	15/12/1993
RA XVIII – Lago Norte	Lei nº 641	10/01/1994
RA XIX – Candangolândia	Lei nº 658	27/01/1994
RA XX – Águas Claras	Lei nº 3.153	06/05/2003
RA XXI – Riacho Fundo II	Lei nº 3.153	06/05/2003
RA XXII – Sudoeste/Octogonal	Lei nº 3.153	06/05/2003
RA XXIII – Varjão	Lei nº 3.153	06/05/2003
RA XXIV – Park Way	Lei nº 3.255	29/12/2003
RA XXV – SCIA (Estrutural)*	Lei nº 3.315	27/01/2004
RA XXVI – Sobradinho II	Lei nº 3.315	27/01/2004
RA XXVII – Jardim Botânico	Lei nº 3.435	31/08/2004
RA XXVIII – Itapoã	Lei nº 3.527	03/01/2005
RA XXIX – SIA**	Lei nº 3.618	14/07/2005

Fonte: PDAD 2004, complementado por consulta a CODEPLAN.

Nota: \* SCIA – Setor Complementar de Indústria e Abastecimento – inclui a Vila Estrutural.

\*\* SIA – Setor de Indústria e Abastecimento.

Os dados socioeconômicos utilizados nessa pesquisa tiveram sua fonte nos seguintes estudos: Estrutura da Renda Familiar no Distrito Federal, GDF\CODEPLAN, 1985; Estudos Sócio-econômicos da Unidade Familiar do Distrito Federal, GDF\CODEPLAN, 1996; Perfil Sócio-Econômico das Famílias do Distrito Federal, GDF\CODEPLAN, 1997; e Pesquisa Domiciliar Transporte, GDF\CODEPLAN, 2002;

e Pesquisa Distrital por Amostras de Domicílios – PDAD, GDF\SEPLAN/CODEPLAN, 2004.

Esses dados foram tabulados no programa Microsoft Excel e posteriormente alimentaram planilhas com as informações de renda, educação e saúde adotadas na pesquisa. As informações dessa planilha foram copiadas para tabela de atributo do plano de informação (PI), em formato *Shapfile*, que contém as RA's do Distrito Federal. Posteriormente o PI das RA's, contendo as informações socioeconômicas, foi interpolado com o PI das microbacias estudadas resultando no PI de informações socioeconômicas das microbacias. Esse procedimento foi repetido para os três anos de estudo (1984, 1995 e 2006).

Vale ressaltar que a densidade populacional em algumas microbacias estudadas é reduzida, no entanto, devido a proximidade dessas áreas aos centros urbanos do DF e da dificuldade de obtenção de dados sócio-econômicos específicos dessas microbacias (conforme discutido anteriormente), adotou-se os dados dos indicadores de saúde, renda e educação referentes a Região Administrativa na qual a microbacia está inserida.

Nos casos em que o limite das microbacias avança sobre os limites de mais de uma RA, foi calculada a porcentagem de sobreposição de cada RA em relação à área total da microbacia. Essa porcentagem serviu de base para ponderação realizada nos dados socioeconômicos para resultar nos valores adotados para estas microbacias. A tabela 19, a seguir, apresenta as porcentagens de cada RA em relação às microbacias estudadas.

Tabela 19. Porcentagem da área da Região Administrativa (RA) em relação às microbacias.

Microbacia	RA	1984	RA	1995	RA	2006
Capão da Onça	Brazlândia	100%	Brazlândia	100%	Brazlândia	100%
Barroão	Brazlândia	100%	Brazlândia	100%	Brazlândia	100%
Taquari	Sobradinho	100%	Sobradinho	88%	Itapoã	56%
			Brasília	12%	Lago Norte	44%
Cachoeirinha	Sobradinho	100%	Sobradinho	58%	Itapoã	54%
			Paranoá	42%	Paranoá	46%
Currais	Taguatinga	84%	Taguatinga	84%	Taguatinga	84%
	Ceilândia	16%	Ceilândia	16%	Ceilândia	16%
Pedras	Taguatinga	53%	Taguatinga	53%	Taguatinga	53%
	Brazlândia	47%	Brazlândia	47%	Brazlândia	47%
Brejinho	Planaltina	100%	Planaltina	100%	Planaltina	100%
Corguinho	Planaltina	89%	Planaltina	89%	Planaltina	89%
	Sobradinho	11%	Sobradinho	11%	Sobradinho II	11%
Fumal	Planaltina	100%	Planaltina	100%	Planaltina	100%
Mestre D'armas	Planaltina	90%	Planaltina	90%	Planaltina	90%
	Sobradinho	10%	Sobradinho	10%	Sobradinho II	10%
Quinze	Planaltina	100%	Planaltina	100%	Planaltina	100%

O trabalho de Oliveira (2003), baseado em uma adaptação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA), desenvolvido pelo Estado de São Paulo, para análise da sustentabilidade do município de Toledo – SC, optou pelo dimensionamento da dimensão socioeconômica do ISA, baseada nas variáveis renda, educação e saúde pública (dados referentes ao saneamento básico).

Conforme comentado anteriormente, a dimensão socioeconômica do ISBH também considera as variáveis renda, educação e saúde pública, que nessa pesquisa são considerados indicadores. O cálculo da dimensão socioeconômica consiste na soma de cada um desses indicadores, que variam de 0 a 1 (onde 0 representa a pior condição do indicador e 1 a melhor) e divisão do total por 3. A fórmula (10) apresenta o cálculo do indicador representante da dimensão socioeconômica do ISBH.

$$DS = \{R(0-1) + Ed(0-1) + SP(0-1)\} / 3 \quad (10)$$

Onde:

(DS) = Dimensão Socioeconômica

(R) = Indicador de Renda

(Ed) = Indicador de Educação

(SP) = Indicador de Saúde Pública

### 5.3.1. Indicador de Renda

O indicador de renda foi baseado nos estudos de renda per capita por Região Administrativa do Distrito Federal (GDF/CODEPLAN, 1985; GDF/CODEPLAN, 1997; GDF/SEPLAN/CODEPLAN, 2004). Essa variável foi escolhida para permitir uma análise da situação de renda da população inserida, ou no entorno, das microbacias estudadas. Para este estudo, considerou-se que o nível de renda reflete, mesmo que indiretamente, em uma maior consciência ambiental. Desta forma, a tabela 20 apresentada a pontuação do indicador de renda.

Tabela 20. Pontuação do indicador de renda per capita.

Renda per capita em salários mínimos (R)	Pontuação
$R > 3$	1
$3 \leq R < 2.5$	0.8
$2.5 \leq R < 2$	0.6
$2 \leq R < 1.5$	0.4
$1.5 \leq R < 0.75$	0.2
$R \leq 0.75$	0

### 5.3.2. Indicador de Educação

O indicador de educação é composto por duas variáveis baseadas no grau de instrução da população por RA. As variáveis escolhidas foram a porcentagem da população analfabeta e a porcentagem da população com segundo grau completo.

O cálculo do indicador de educação, apresentado por meio da fórmula (11), é o resultado da média aritmética entre a variável básica porcentagem da população analfabeta (Anf) e a variável básica porcentagem da população com segundo grau completo (2ºcomp).

$$Ed = \{Anf (0-1) + 2^{\circ}comp (0-1)\}/2 \quad (11)$$

Onde:

(Ed) = Indicador de Educação;

(Anf) = Variável básica da porcentagem da população analfabeta.

(2°comp) = Variável básica da população com segundo grau completo;

A definição da pontuação das duas variáveis básicas do indicador de educação está baseada na hipótese de que o grau de instrução, principalmente nos grandes centros urbanos, possui relação com a consciência ambiental da população. Desta forma, a tabela 21 a seguir, apresenta a pontuação adotada para as duas variáveis em questão.

Tabela 21. Pontuação da variável básica porcentagem de analfabetismo e porcentagem da população com 2° grau completo por microbacia estudada.

Analfabetismo, em % (Anf)	Pontuação	2° grau completo, em % (2° comp)	Pontuação
Anf ≤ 1	1	2°comp > 25	1
1 < Anf ≤ 2	0.8	25 ≤ 2°comp < 20	0.8
2 < Anf ≤ 4	0.6	20 ≤ 2°comp < 15	0.6
4 < Anf ≤ 6	0.4	15 ≤ 2°comp < 10	0.4
6 < Anf ≤ 8	0.2	10 ≤ 2°comp < 5	0.2
Anf > 8	0	2°comp ≤ 5	0

### 5.3.3. Indicador de Saúde Pública

O saneamento básico constitui-se num instrumento pelo qual o homem procura evitar ou minimizar os prejuízos decorrentes de sua própria atividade e compreende os serviços urbanos de água, esgotos, resíduos sólidos e drenagem.

O acelerado processo de migração da população rural para as zonas urbana gerou um inchaço dos principais centros urbanos do país. Na maioria dos casos a presença do poder público como responsável pela promoção de equipamentos públicos e a infraestrutura urbana não acompanhou o ritmo do crescimento urbano.

Esse descompasso tem como principais conseqüências a defasagem nas estruturas públicas de serviços, abastecimento de água, rede de esgoto, sistemas de drenagem, coleta e destinação final do lixo, tratamento do esgoto, limpeza pública e serviços de atendimento à saúde (OLIVEIRA, 2003).

O processo de implantação de sistemas coletivos de saneamento, iniciado nos fins do século XIX e início do século XX, apontou para uma melhoria constante do estado de saúde das populações beneficiadas, independente da existência de evidências científicas, no início do século XX, que permitissem associar melhorias na saúde pública à implantação de sistemas coletivos de saneamento (TEIXEIRA e GUILHERMINO, 2006).

Hoje, sabe-se que os serviços de saneamento são de vital importância para proteger a saúde da população, minimizar as consequências da pobreza e proteger o meio ambiente. No entanto, os recursos financeiros disponíveis para o setor são escassos no Brasil, a despeito das carências observadas. Logo, a inclusão das questões de saneamento nos índices e indicadores, além da função de apontar fontes de poluição e problemas de saúde, evidenciam uma das maiores deficiências estruturais das cidades brasileiras.

Confirmando a afirmativa anterior, segundo a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1997), na maioria dos países em desenvolvimento, a impropriedade e a carência de infra-estrutura sanitária é responsável pela alta mortalidade por doenças de veiculação hídrica e por um grande número de mortes evitáveis a cada ano.

Resultados do Censo 2000 (IBGE, 2000) revelaram o inchaço da periferia das cidades, com índices crescentes de favelização, desemprego e miséria. Esse estudo, assim como a publicação “Indicadores e Dados Básicos para a Saúde 2003” (IDB, 2004), indicam valores preocupantes para sistema de cobertura de redes de abastecimento de água, para os sistemas de coleta de esgoto e para população com acesso a coleta de lixo no Brasil.

Sendo assim, o indicador de saúde pública adotado nessa pesquisa é definido pela análise da cobertura da população residente nas microbacias atendidas por redes de abastecimento de água e pelo sistema de esgotamento sanitário. Vale ressaltar que para as microbacias onde não há população residente o indicador de saúde pública não é considerado no cálculo da dimensão socioeconômica. Neste caso, a dimensão socioeconômica é calculada pela média aritmética entre o indicador de renda e educação.

O cálculo do indicador de saúde pública (SP) é definido pela fórmula (12), a seguir, que contem a média aritmética entre as variáveis básicas Esgotamento Sanitário (ES) e Abastecimento de Água (AA).

$$SP = \{ES (0-1) + AA(0-1)\}/2 \quad (12)$$

Onde:

(SP) = Indicador de Saúde Pública;

(ES) = Variável básica de esgotamento sanitário;

(AA) = Variável básica de abastecimento de água;

A variável básica esgotamento sanitário (ES) refere-se a porcentagem da população atendida pelo sistema de esgotamento sanitário implantado e operado pela Companhia de Saneamento Ambiental (CAESB), e a variável básica abastecimento de água (AA) refere-se a porcentagem da população atendida pela rede de abastecimento de água implantada e operada pela CAESB. A tabela 22, a seguir, apresenta a pontuação aferida para cada uma das variáveis em questão.

Tabela 22. Pontuação das variáveis básicas de esgotamento sanitário e de abastecimento de água.

<b>Abastecimento de água (AA), em %</b>	<b>Pontuação</b>	<b>Esgotamento sanitário (ES), em %</b>	<b>Pontuação</b>
AA >95	1	ES >95	1
95 ≥ AA > 90	0.8	95 ≥ ES > 90	0.8
90 ≥ AA > 85	0.6	90 ≥ ES > 80	0.6
85 ≥ AA > 80	0.4	80 ≥ ES > 70	0.4
80 ≥ AA > 70	0.2	70 ≥ ES > 50	0.2
AA ≤ 70	0	ES ≤ 50	0

#### 5.4. DIMENSÃO POLÍTICO INSTITUCIONAL

Segundo Kauffmann (2003) a discussão de políticas públicas, atualmente, envolve necessariamente a preocupação com a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável, principalmente nos grandes centros urbanos onde as ações antrópicas negativas são mais claramente notadas.

Esse autor considera que a evolução dos conceitos de sustentabilidade, dos indicadores de sustentabilidade e das legislações urbanísticas, ambientais e de recursos hídricos, devem caminhar juntos sob uma óptica de um sistema integrado como são as relações no meio ambiente.

Em meio século, o Brasil sofreu um dos mais rápidos processos de urbanização do mundo: de 46% em 1940, as cidades passaram a abrigar 80% da população brasileira em 1996 e deve chegar a 88% em 2025. A industrialização tornou os centros urbanos responsáveis por 90% de tudo o que é produzido no país (IBGE, 2000).

Para Ferreira (2000) a tendência de inchaço das cidades implica mudanças também na gestão urbana. Para lidar com problemas de lixo, captação de água, segurança, transporte, e poluição, deve-se pensar em novas formas de atuação e monitoramento. A internalização da problemática ambiental no processo de formulação e implementação de políticas públicas é fundamental.

O crescimento das cidades está intrinsecamente relacionado com o aumento do número de pessoas que nelas vivem. A crescente concentração de população no meio urbano, normalmente, vem acompanhada pela deterioração da qualidade de vida. Esse aspecto nos remete à necessidade de questão da gestão das cidades. Em algumas cidades do mundo já existem iniciativas no sentido de promover um gerenciamento integrado das atividades urbanas que aumente a qualidade de vida da população e preserve o equilíbrio ambiental (VIG e KRAFT, 1998, apud FERREIRA, 2000).

Entretanto, no caso brasileiro, por características históricas, o processo de industrialização e urbanização trouxe para as regiões metropolitanas a ampliação das carências sociais e dos serviços públicos, a falência das políticas administrativas, a deterioração ambiental (principalmente dos recursos hídricos) e o estrangulamento da infra-estrutura das cidades (principalmente nos setores de saneamento, habitação e transporte).

Desse modo, as cidades passam a se defrontar com uma situação grave, que exige intervenções ágeis em áreas que extrapolam as tradicionais políticas na área urbana. Trata-se de amplos projetos de infra-estrutura, políticas sociais, programas de emprego, políticas ambientais e uma reestruturação completa no sistema político institucional que permita mudanças a curto, médio e longo prazo (FERREIRA, 2000).

Neste contexto, a autora destaca a importância de internalização de indicadores político-institucionais de sustentabilidade na esfera de políticas públicas do país. Os trabalhos de Ferreira (1998) e Ferreira (2000) fortalecem a proposta de adoção de uma dimensão político institucional no Índice de Sustentabilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas (ISBH).

Para aplicação do ISBH em microbacias do Distrito Federal adotou-se três indicadores que compõem a dimensão político institucional: Taxa de Urbanização do

Entorno das microbacias; Integridade de Áreas de Preservação Permanente; e Cobertura das microbacias por Unidade de Conservação. O cálculo da dimensão político institucional do ISBH está apresentado pela fórmula (13) a seguir.

$$DP = \{TUE(0-1) + IAPP(0-1) + SUC(0-1)\}/3 \quad (13)$$

Onde:

(DP) = Dimensão Político Institucional

(TUE) = Indicador de Taxa de Urbanização do Entorno

(IAPP) = Indicador de Integridade de Áreas de Preservação Permanente

(SUC) = Indicador de Cobertura por Unidade de Conservação

#### 5.4.1. Indicador de Taxa de Urbanização do Entorno

Como já foi discutido anteriormente nesta pesquisa o processo de urbanização, particularmente no caso do DF, representa uma forte pressão sobre os recursos naturais, notadamente os recursos hídricos. O ISBH aplicado em 11 microbacias com captação de água para abastecimento da população do DF procurou contemplar indicadores que refletissem o processo de ocupação do território no interior das áreas estudadas. No entanto, é sabido que a ocupação do entorno de áreas destinadas a um uso mais restrito deve sempre ser monitorado.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) por exemplo, quando trata do manejo de unidades de conservação da natureza (UC), enfatiza a importância de estudos, planejamento, monitoramento e normatização quando for o caso, do entorno das áreas protegidas (BRASIL, 2000). A preocupação do legislador ao conferir ao gestor de áreas protegidas no Brasil autonomia sobre a gestão do solo no entorno das UC baseia-se na pressão gerada pelos moradores do entorno sobre os recursos naturais da unidade (IBAMA, 1992).

Apesar das microbacias em questão não serem unidades de conservação, estas áreas são de fundamental importância para a sustentabilidade dos recursos hídricos do DF. Sendo assim, o indicador de taxa de urbanização do entorno, pretende incorporar a questão do uso do território no entorno das microbacias no monitoramento e análise do ISBH.

A área de entorno considerada nesse indicador corresponde a um *buffer* de 1000 metros em relação ao perímetro da microbacia. Essa área foi obtida por meio da

ferramenta *ArcEditor* do ArcGis 9.2. A taxa de urbanização adotada foi definida de acordo com a porcentagem de área urbanizada em relação à área de entorno.

A área urbanizada foi calculada com base no mapa de uso e ocupação do solo, gerado para todas as microbacias em todos os anos de estudo (1984, 1995 e 2006) com um *buffer* de 1000 metros a partir do limite das microbacias. As classes do mapa de uso e ocupação do solo adotadas foram: áreas urbanas consolidadas de alta densidade; áreas urbanas consolidadas de baixa densidade; áreas urbanas em consolidação ou áreas de parcelamento urbano e áreas rurais com chácaras ou parcelamento rural.

Como a intensidade da urbanização é diferenciada nas classes adotadas, optou-se pelo estabelecimento de um coeficiente de urbanização. O valor do coeficiente varia de acordo com o grau de urbanização sendo: 0.40 para a classe de chácaras ou parcelamento rural; 0.70 para a classe de áreas urbanas em consolidação ou áreas de parcelamento urbano; 0.90 para a classe áreas urbanas consolidadas de baixa densidade; e 1 para a classe de áreas urbanas consolidadas de alta densidade.

Sendo assim, para obtenção da área urbanizada no entorno das microbacias, a área existente de cada classe de uso e ocupação do solo adotada para este indicador foi multiplicada pelo coeficiente de urbanização. Posteriormente as áreas das classes foram somadas e, em seguida, o resultado desta soma foi dividido pela área total do entorno. Esse resultando foi multiplicado por 100, levando ao valor da porcentagem de área urbanizada.

A tabela 23, a seguir, apresenta a pontuação aferida ao indicador de acordo com a porcentagem de área urbanizado no entorno de cada microbacia.

Tabela 23. Pontuação do indicador taxa de urbanização do entorno.

<b>Taxa de Urbanização do Entorno (TUE), em %</b>	<b>Pontuação</b>
TUE ≤ 5	1
5 < TUE ≤ 10	0.8
10 < TUE ≤ 15	0.6
15 < TUE ≤ 20	0.4
20 < TUE ≤ 25	0.2
TUE > 25	0

#### 5.4.2. Indicador de Integridade de APP

Para Lohman (2003), as Áreas de Preservação Permanente (APP) funcionam como reguladores do fluxo de água, sedimentos e nutrientes entre os terrenos mais altos de uma bacia hidrográfica e o ecossistema aquático. Os ecossistemas que compõem as APPs de rios e nascentes, principalmente matas ciliares, desempenham funções hidrológicas: estabilizando as áreas críticas pelo desenvolvimento de um emaranhado radicular; funcionando como tampão e filtro entre os terrenos mais altos e o ecossistema aquático; participando do controle do ciclo de nutrientes numa bacia hidrográfica; atuando na diminuição e filtragem do escoamento superficial impedindo ou dificultando o carregamento de sedimentos para o sistema aquático; contribuindo para a estabilidade térmica dos pequenos cursos d'água, através das copas das árvores que interceptam a radiação solar.

Estudo realizado por Marcondes (2001) sobre a integridade de APPs, mostrou que essas áreas retêm cerca de 41 kg/ha/ano de material particulado carregado em direção aos corpos hídricos. O estudo indica ainda que com a recomposição de 10% da área de APP com vegetação nativa, onde antes havia solo exposto, acarretou uma redução de 70% na perda de solo. Em outro experimento, a substituídas de gramíneas que ocupavam 40% das APPs da área de estudo por vegetação nativa, reduziu-se em 20% a carga difusa, principalmente de nitrogênio e fósforo que chegavam aos corpos hídricos.

Para Skorupa (2003), em estudo realizado pela EMBRAPA Meio Ambiente, os principais benefícios decorrentes da manutenção das APP compostas por matas ciliares em áreas marginais de córregos, rios e reservatórios, bem como de áreas próximas às nascentes, podem ser analisados sob dois aspectos: o primeiro deles com respeito a importância das APP como componentes físicos do ecossistema; o segundo, com relação aos serviços ecológicos prestados pela flora existente, incluindo todas as associações por ela proporcionada com os componentes bióticos e abióticos do ecossistema.

Os benefícios relacionados aos componentes físicos referem-se ao papel da vegetação como: um amortecedor das chuvas, evitando o seu impacto direto sobre o solo e a sua paulatina compactação; promotora, juntamente com toda a massa de raízes das plantas, da permanência do solo como corpo poroso e capaz de absorver a água das chuvas, alimentando os lençóis freáticos; barreira evitando que o escoamento superficial excessivo de água carregue partículas de solo e resíduos tóxicos provenientes das

atividades antrópicas para o leito dos cursos d'água, poluindo-os e assoreando-os; instrumento para garantia de estabilização das margens dos rios e reservatórios, evitando que o solo seja levado diretamente para o leito dos cursos - atuando como um filtro ou como um “sistema tampão”; controle hidrológico de uma bacia hidrográfica, regulando o fluxo de água superficial e sub-superficial, e por consequência do lençol freático.

Skorupa (2003) afirma ainda que um dos exemplos emblemáticos da importância das APPs se refere à questão da disponibilidade dos recursos hídricos: “A freqüente escassez de água para abastecimento em vários centros urbanos, bem como o recente racionamento no fornecimento de energia elétrica provocado pelo baixo nível dos reservatórios, poderiam ser atribuídos, em parte, à degradação crônica das matas ciliares e de áreas de nascentes em diversas bacias hidrográficas brasileiras nas últimas décadas.”

O indicador de integridade de APP foi definido com base nas Áreas de Preservação Permanente definidas pelo Código Florestal brasileiro e suas alterações (BRASIL, 1965; BRASIL, 1986; e BRASIL 2002).

Conforme o inciso II do § 2º do art. 1º da Medida Provisória (MP) 2.166-67, de 24/08/01, “área de preservação permanente é aquela protegida nos termos dos Arts. 2º e 3º do Código Florestal, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”.

As áreas de preservação permanente são estabelecidas pelo artigo 2º do Código Florestal (Lei Federal 4771 de 15/09/65, alterada pela Lei Federal 7803 de 18/07/89) como sendo as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- i) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, sendo a largura mínima de preservação estabelecida de acordo com a largura dos cursos d'água. Para os cursos d'água de menos de 10 metros, a largura mínima estabelecida é de 30 metros. Para os cursos d'água de 10 a 50 e de 50 a 200 metros, as larguras mínimas estabelecidas são de 50 e 100 metros respectivamente (Art. 2º do Código Florestal);
- ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais (limites estabelecidos pela resolução CONAMA nº 302 e 303 de 20/03/02).

- nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura.
- no topo de morros, montes, montanhas e serras. A resolução CONAMA nº 303/02 estabelece as definições e especifica o que devem ser considerados para estes como sendo de preservação.
- em vereda e em faixa marginal, em projeção horizontal, com largura mínima de cinquenta metros, a partir do limite do espaço brejoso e encharcado (CONAMA nº 303/02)
- nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive.
- nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues.
- nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 metros em projeções horizontais.
- em altitude superior a 1800 metros, qualquer que seja a vegetação.

O procedimento para definição do indicador de integridade de APP seguiu os seguintes passos: primeiro foi feita a vetorização da rede hidrográfica das microbacias; posteriormente foi gerado um *buffer* de 30 metros em relação as margens dos corpos hídricos e um *buffer* de 50 metros ao redor dos pontos de nascente, constituindo a Plano de informação (PI) de APP de cada microbacia; em seguida foi feita uma interpolação entre o PI de APP com o PI de uso e ocupação do solo, o resultado desse procedimento foi o estabelecimento do PI integridade de APP para cada microbacia.

A integridade da APP está relacionada com a integridade da cobertura vegetal existente na APP (SKORUPA, 2003 e MARCONDES, 2001). Para este trabalho adotou-se a metodologia apresentada no item 5.1.2 para classificação da porcentagem de cobertura vegetal por classe de uso e ocupação (tabela 06). A soma das porcentagens de cobertura vegetal nas classes de uso do solo existente na poligonal da APP indica a porcentagem da integridade da APP. Desta forma, o cálculo do indicador de integridade de APP apresentado na tabela 24, consiste em uma pontuação aferida em função do nível de cobertura vegetal das Áreas de Preservação Permanente.

Tabela 24. Pontuação do indicador de integridade de Área de Preservação Permanente (APP).

<b>Integridade de APP (IAPP) em %</b>	<b>Pontuação</b>
IAPP > 95	1
$95 \geq \text{IAPP} > 90$	0.8
$90 \geq \text{IAPP} > 80$	0.6
$80 \geq \text{IAPP} > 70$	0.4
$70 \geq \text{IAPP} > 60$	0.2
$\text{IAPP} \leq 60$	0

Todos os procedimentos adotados para definição do indicador de integridade de APP foram realizados no software ArcGis 9.2 através das ferramentas *ArcEditor e XTools Pro*.

#### 5.4.3. Indicador de Cobertura por Unidade de Conservação

A lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) dá a seguinte definição para unidade de conservação: "espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivo de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção".

Nessa mesma lei estão estabelecidos critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação no Brasil. O SNUC classifica as unidades de conservação em dois grupos:

- Unidades de Proteção Integral, cujo objetivo básico é a preservação da natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. Fazem parte desse grupo as seguintes categorias de UC: Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre.
- Unidades de Uso Sustentável, que tem por objetivo, compatibilizar a conservação da natureza, com o uso sustentável dos recursos naturais. Fazem parte desse grupo de UC as seguintes categorias: Áreas de Proteção Ambiental; Áreas de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Além das unidades de conservação (UC), conforme já foi comentado anteriormente, os mananciais destinados a captação de água para abastecimento público no Distrito Federal, baseado na Lei complementar nº 17 (DISTRITO FEDERAL, 1997), possuem uma área, denominada Área de Proteção de Manancial, que normalmente corresponde a área da bacia hidrográfica do manancial, com regras restritas de uso. Como todas as microbacias estudadas são contempladas com por essa lei, esse critério não teve peso na pontuação do indicador.

A pontuação do indicador de cobertura por UC com as microbacias estudadas foi determinada segundo dois critérios: categoria da unidade de conservação (proteção integral ou uso sustentável); e porcentagem da área da bacia com cobertura por UC. Para os objetivos desse estudo, as áreas protegidas do DF (parques ecológicos, parques vivenciais) que não se enquadram no SNUC (BRASIL, 2000), foram consideradas unidades de conservação de uso sustentável.

Desta forma, para atingir a pontuação máxima as microbacias devem ter mais de 75% de sua área inserida em Unidade de Conservação de proteção integral ou apenas 50% da área inserida nessa mesma categoria e no mínimo 25% do restante da área da microbacia em UC de uso sustentável. Como o DF possui boa parte do seu território abrangido por UC's de uso sustentável, principalmente Áreas de Proteção Ambiental (APA), adotou-se valores relativamente altos de cobertura por UC para definição do restante da pontuação do indicador de cobertura por UC. A tabela 25, a seguir, apresenta essa pontuação.

Tabela 25. Pontuação do indicador de cobertura por unidades de conservação.

<b>Cobertura por Unidades de Conservação (CUC), em %.</b>	<b>Pontuação</b>
$75 > CUC(\text{integ.})^{**} / \text{ou} / 50 > CUC(\text{integ.}) \text{ e } 25 > CUC(\text{sust.})$	1
$90 \leq CUC(\text{sust.})^* / \text{ou} / 75 \leq CUC(\text{integ.}) > 50$	0.8
$90 \leq CUC(\text{sust.})^* > 75 / \text{ou} / 50 \leq CUC(\text{integ.}) > 25$	0.6
$75 \leq CUC(\text{sust.})^* > 50 / \text{ou} / 25 \leq CUC(\text{integ.})$	0.4
$50 \leq CUC(\text{sust.})^* > 25^*$	0.2
$25 \leq CUC(\text{sust.})^*$	0

\* CUC(sust.) Cobertura por Unidades de Conservação de Uso Sustentável

\*\* CUC(integ.) Cobertura por Unidades de Conservação de Proteção Integral

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA APLICAÇÃO DO ISBH

O Índice de Sustentabilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas (ISBH) foi aplicado em 11 microbacias onde há captação de água para abastecimento humano no Distrito Federal. Os resultados da aplicação do ISBH são apresentados por meio da análise temporal do índice por microbacia e da análise comparativa do índice entre as microbacias.

### 6.1. ANÁLISE TEMPORAL DO ISBH POR MICROBACIA

Os resultados do mapeamento de uso e ocupação do solo e do cálculo das variáveis básicas, indicadores, dimensões e do ISBH são apresentados por microbacia para os três anos de estudados.

#### Córrego Taquari

O valor ISBH para microbacia do córrego Taquari aumentou no período estudado. Em 1984 o índice foi estimado em 0.64, evoluindo para 0.74 em 1995 e atingindo 0.75 em 2006. As dimensões ambiental e político institucional foram as que melhor refletiram esse aumento. O gráfico 01, a seguir, apresenta os dados das quatro dimensões e do ISBH da microbacia do córrego Taquari.

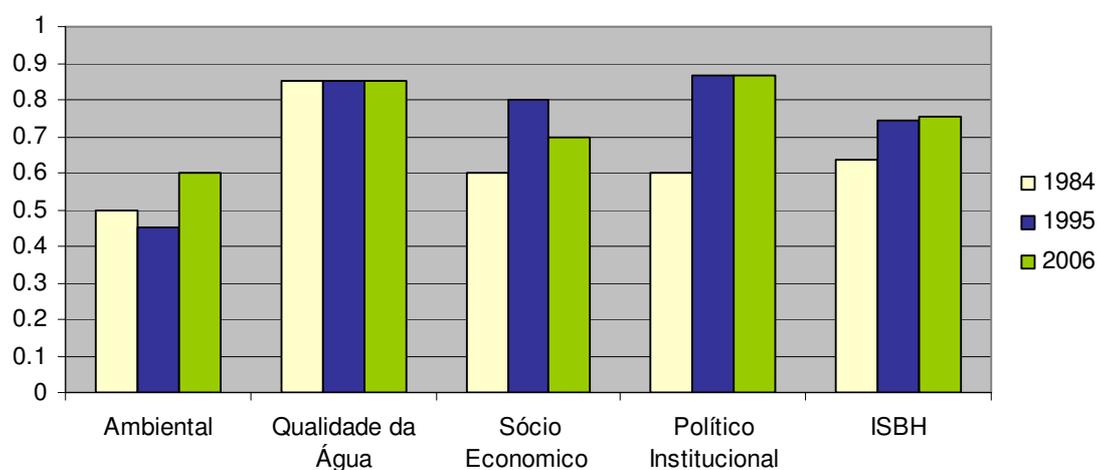


Gráfico 01. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Taquari.

Analisando a evolução da dimensão ambiental, merece destaque a melhora no indicador de risco de erosão no período 1995 a 2006. No caso do indicador de cobertura vegetal, vale ressaltar o decréscimo ocorrido no período 1984 a 1995 e a tendência de evolução da taxa de cobertura vegetal a partir de 1995. A tabela 26, a seguir, apresenta esses resultados.

Tabela 26. Resultado dos indicadores e da dimensão ambiental da microbacia do córrego Taquari para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Cobertura Vegetal	Risco de Erosão	Densidade de estradas	Área Impermeabilizada	Ambiental
Taquari	1984	0.60	0.40	0.20	0.80	<b>0.50</b>
	1995	0.40	0.40	0.20	0.80	<b>0.45</b>
	2006	0.60	0.80	0.20	0.80	<b>0.60</b>

Para dimensão político institucional o destaque refere-se ao indicador de cobertura por unidades de conservação, que em decorrência da criação da APA do Paranoá, passou da pontuação 0 (zero) em 1984 para 0.8 em 1995 (tabela 27). O indicador de integridade de área de preservação permanente (IAPP), que passou de 0.8 em 1984 e 1995 para 1 (um) em 2006, também contribuiu para confirmar a tendência de melhora do ISBH da microbacia do córrego Taquari à partir do ano de 1995.

Tabela 27. Resultado dos indicadores e da dimensão político institucional da microbacia do córrego Taquari para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Taxa de urbanização do entorno	Integridade de APP	Cobertura por Unidades de Conservação	Político institucional
Taquari	1984	1.00	0.80	0.00	0.60
	1995	1.00	0.80	0.80	0.87
	2006	0.80	1.00	0.80	0.87

Os valores da dimensão de qualidade de água se mantiveram constantes e a dimensão socioeconômica apresentou uma evolução no período estudado. No entanto, vale destacar que a dimensão socioeconômica teve um decréscimo de 1995 para 2006. Esse fato, observado na tabela 28, deve-se principalmente ao indicador de Saúde Pública que caiu significativamente em decorrência da inexistência de sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto na ocupação denominada Itapuã. Como o Itapuã foi alçado ao status de Região Administrativa (RA) do Itapuã pela Lei 3.527 em

02/01/2005 (tabela 18, apresentada anteriormente), os dados socioeconômicos dessa RA passaram a integrar o indicador de Saúde Pública da microbacia em questão.

Tabela 28. Resultado dos indicadores e da dimensão socioeconômica da microbacia do córrego Taquari para os anos estudados.

<b>Microbacia</b>	<b>Ano</b>	<b>Renda</b>	<b>Educação</b>	<b>Saúde Pública</b>	<b>Socioeconômica</b>
	1984	0.20	0.60	1.00	<b>0.60</b>
Taquari	1995	1.00	0.70	0.70	<b>0.80</b>
	2006	1.00	0.70	0.40	<b>0.70</b>

Por fim, a análise do ISBH para microbacia do córrego Taquari, reforçada pela análise do mapeamento de uso e ocupação do solo apresentado na figura 07, a seguir, indica uma melhora no índice, notadamente a partir do ano de 1995. Esse fato deve-se, principalmente, pela evolução nas dimensões ambiental e político institucional, provavelmente em decorrência da criação das Áreas de Proteção de Mananciais pela Lei Complementar nº 17, de 28 de janeiro de 1997, e pela política da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) de cercamento de toda área da microbacia (CAESB, 2005).

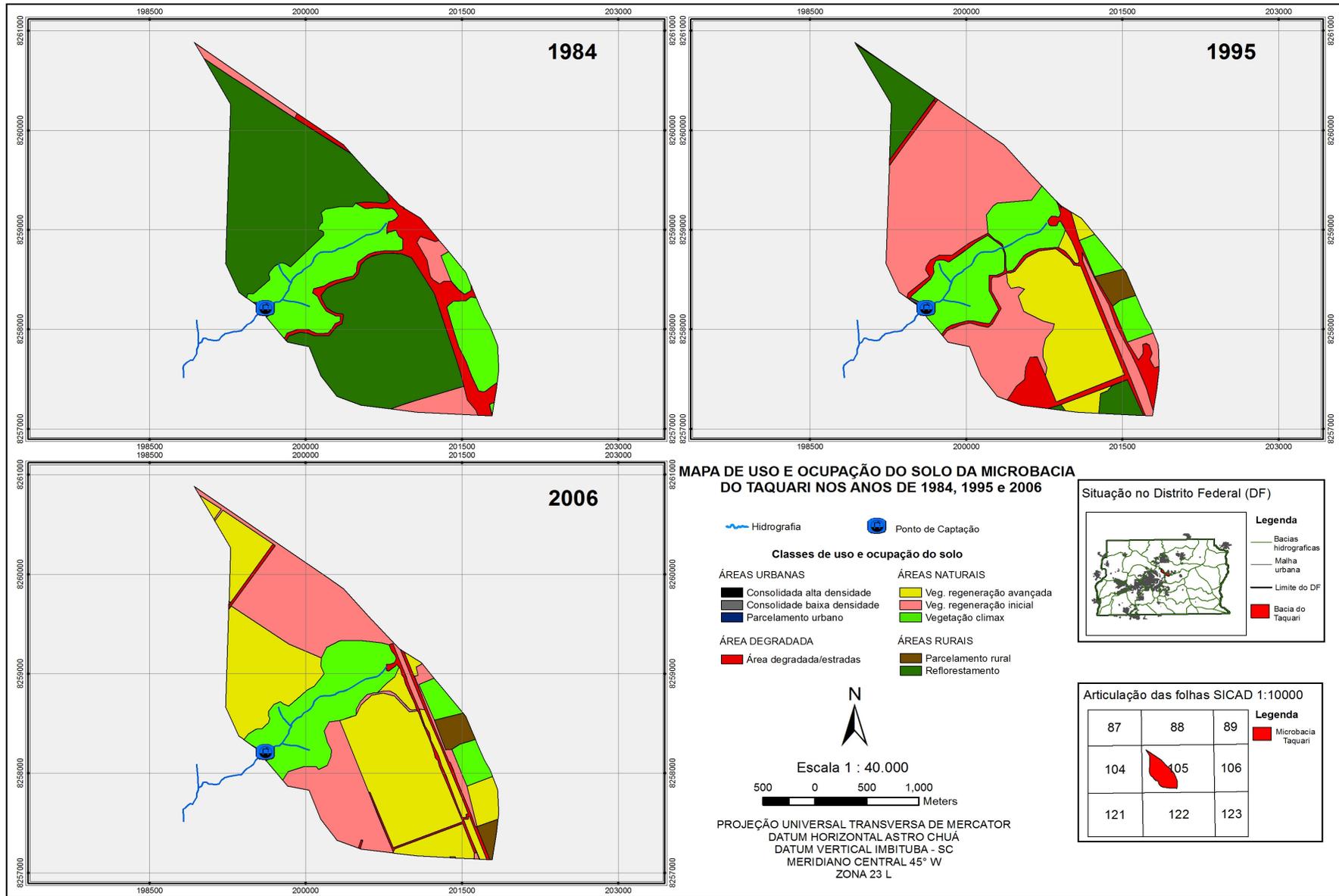


Figura 07 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Taquari nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Córrego Cachoeirinha

O comportamento do ISBH da microbacia do córrego Cachoeirinha indicou uma forte tendência de queda da sustentabilidade dessa microbacia. O valor do ISBH que em 1984 estava em um nível satisfatório, 0.62, caiu para 0.50 em 1995 e atingiu 0.28 em 2006. As dimensões ambiental e de qualidade da água foram as que sofreram maior queda nesse período (gráfico 02).

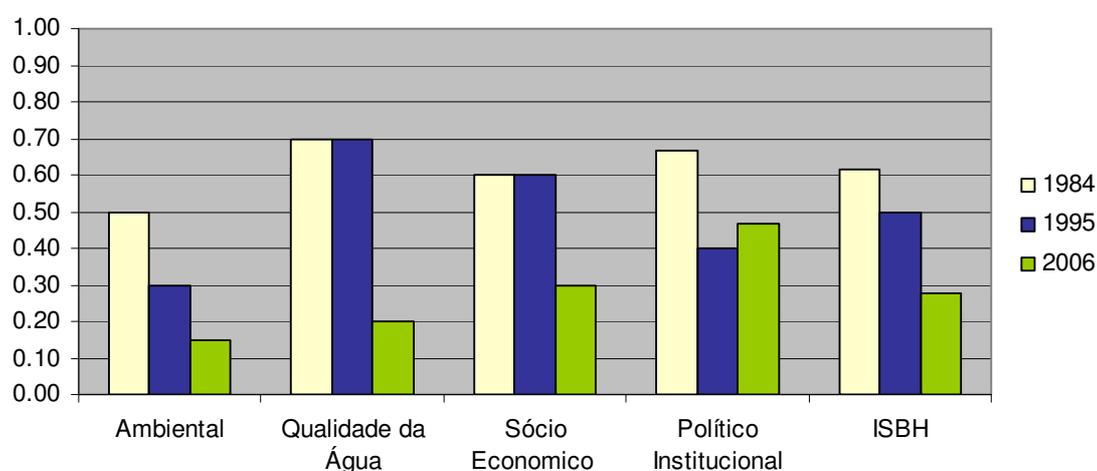


Gráfico 02. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Cachoeirinha.

A queda sofrida pela dimensão socioeconômica a partir do ano de 2002 está, possivelmente relacionada à consolidação da ocupação do Itapuã na bacia em questão. Quanto à dimensão político institucional, a queda no período 1984 a 1995 deveu-se a forte urbanização do entorno da microbacia. No entanto, a ligeira recuperação apresentada em 2006 refere-se à melhora na integridade das áreas de preservação permanente.

A dimensão ambiental apresentou valores baixos, porém, constantes para os indicadores de densidade de estradas e risco de erosão. No entanto, os indicadores de cobertura vegetal e de área impermeabilizada na microbacia tiveram forte queda conforme apresentado na tabela 29, a seguir.

Tabela 29. Resultado dos indicadores e da dimensão ambiental da microbacia do córrego Cachoeirinha para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Cobertura Vegetal	Risco de Erosão	Densidade de estradas	Área Impermeabilizada	Ambiental
Cachoeirinha	1984	0.80	0.40	0.20	1.00	0.60
	1995	0.20	0.20	0.20	0.60	0.30
	2006	0.00	0.20	0.20	0.20	0.15

A dimensão de qualidade da água também contribuiu para queda do ISBH da microbacia do Cachoeirinha. O indicador representado pelo Índice de Qualidade da Água (IQA), não apresentou variação significativa no período 1984 a 1995, mas houve queda desse indicador para o ano de 2006. No entanto, o indicador que melhor representou a queda do ISBH dessa microbacia foi a Turbidez média e máxima. Os valores que também mantiveram-se constantes em 0.8 para os anos de 1984 e 1995, apresentaram forte queda, chegando a pontuação 0 (zero) em 2006 (gráfico 03).

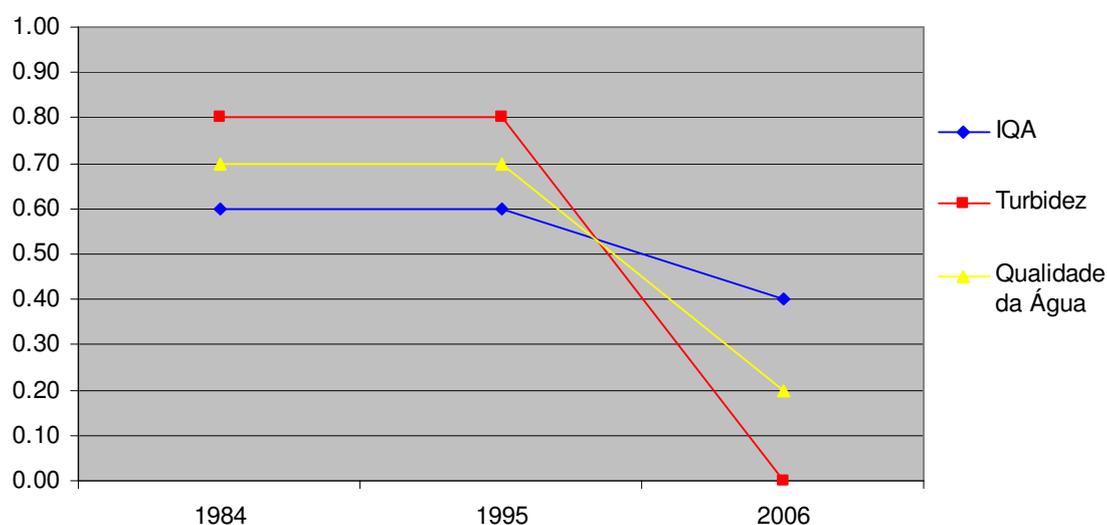


Gráfico 03. Variação do indicador do Índice de Qualidade da Água (IQA), do indicador de Turbidez e da dimensão de qualidade da água, nos anos de 1984, 1995 e 2006, para microbacia do córrego Cachoeirinha.

Dentre os indicadores da dimensão ambiental, vale comentário o fato do indicador de risco de erosão não apresentar queda tão significativas como os indicadores de cobertura vegetal e área impermeabilizada. Esse fato se justifica uma vez que, o indicador de risco de erosão é obtido por meio da Equação Universal de Perda do Solo (EUPS), equação esta que possui um rol de variável das quais a única capaz de

apresentar variação no tempo é a CP (uso e manejo do solo). No caso da microbacia do Cachoeirinha, como houve uma intensificação da área urbanizada, e o valor de CP para áreas urbanas é 0 (zero), as variações de risco de erosão nesta microbacia não foram muito relevantes.

A microbacia do Cachoeirinha apresentou forte queda do ISBH no período estudado. O decréscimo no valor do índice foi mais intenso a partir de 1995, com destaque para queda nos indicadores sensíveis a mudanças no uso da terra. Analisando o mapa de uso e ocupação do solo (figura 08), constata-se que a proliferação de classes de Áreas Urbanas, como parcelamentos e áreas consolidadas se intensificam a partir de 1995, coincidindo com a queda do ISBH.

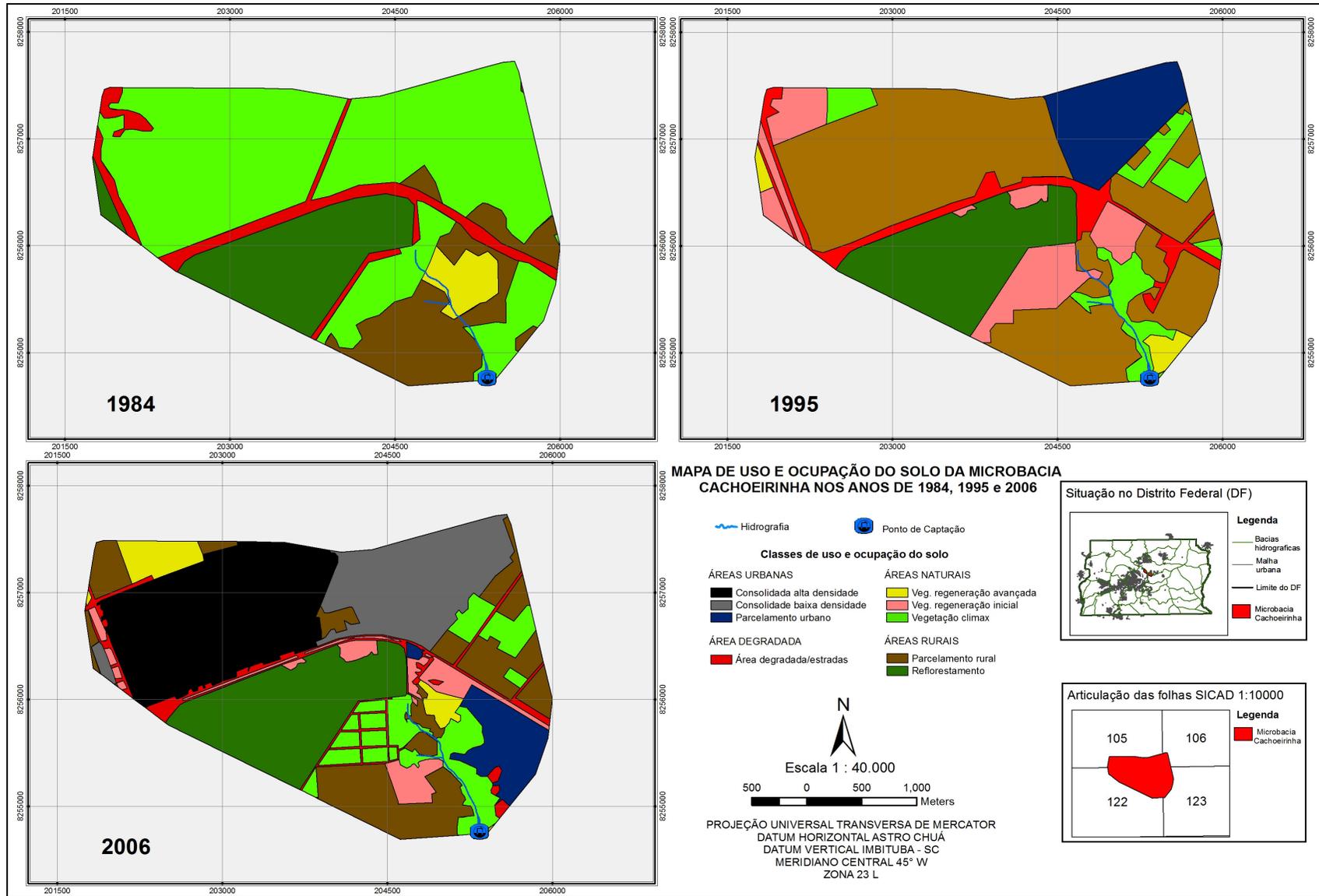


Figura 08 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Cachoeirinha nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Córrego Barroço

A microbacia do córrego Barroço apresentou um ISBH relativamente baixo no período estudado. Em 1984 o índice era de 0.47, passou para 0.44 em 1995 e atingiu 0.40 em 2006. Essa tendência de queda foi observada em três das quatro dimensões que compõem o ISBH (gráfico 04).

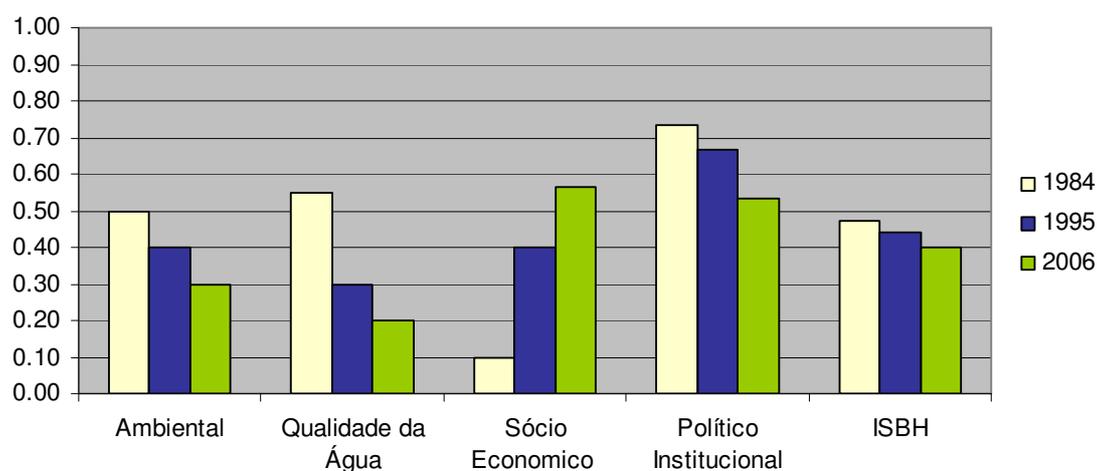


Gráfico 04. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Barroço.

A única dimensão que apresentou tendência de alta foi a socioeconômica. Nessa dimensão todos os indicadores melhoraram, com destaque para Saúde Pública. Quanto a dimensão ambiental, o indicador de cobertura vegetal e de área impermeabilizada refletindo a tendência de expansão agrícola e urbana da microbacia, foram os maiores responsáveis pela queda dessa dimensão. A tabela 30, a seguir, resume os dados da dimensão ambiental e a figura 09 a tendência de expansão de atividades rurais e de ocupação urbana sofrida na microbacia no período estudado.

Tabela 30. Resultado dos indicadores e da dimensão ambiental da microbacia do córrego Barroço para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Cobertura Vegetal	Risco de Erosão	Densidade de estradas	Área Impermeabilizada	Ambiental
Barroço	1984	0.80	0.40	0.00	1.00	0.55
	1995	0.60	0.20	0.00	0.80	0.40
	2006	0.20	0.20	0.00	0.60	0.25

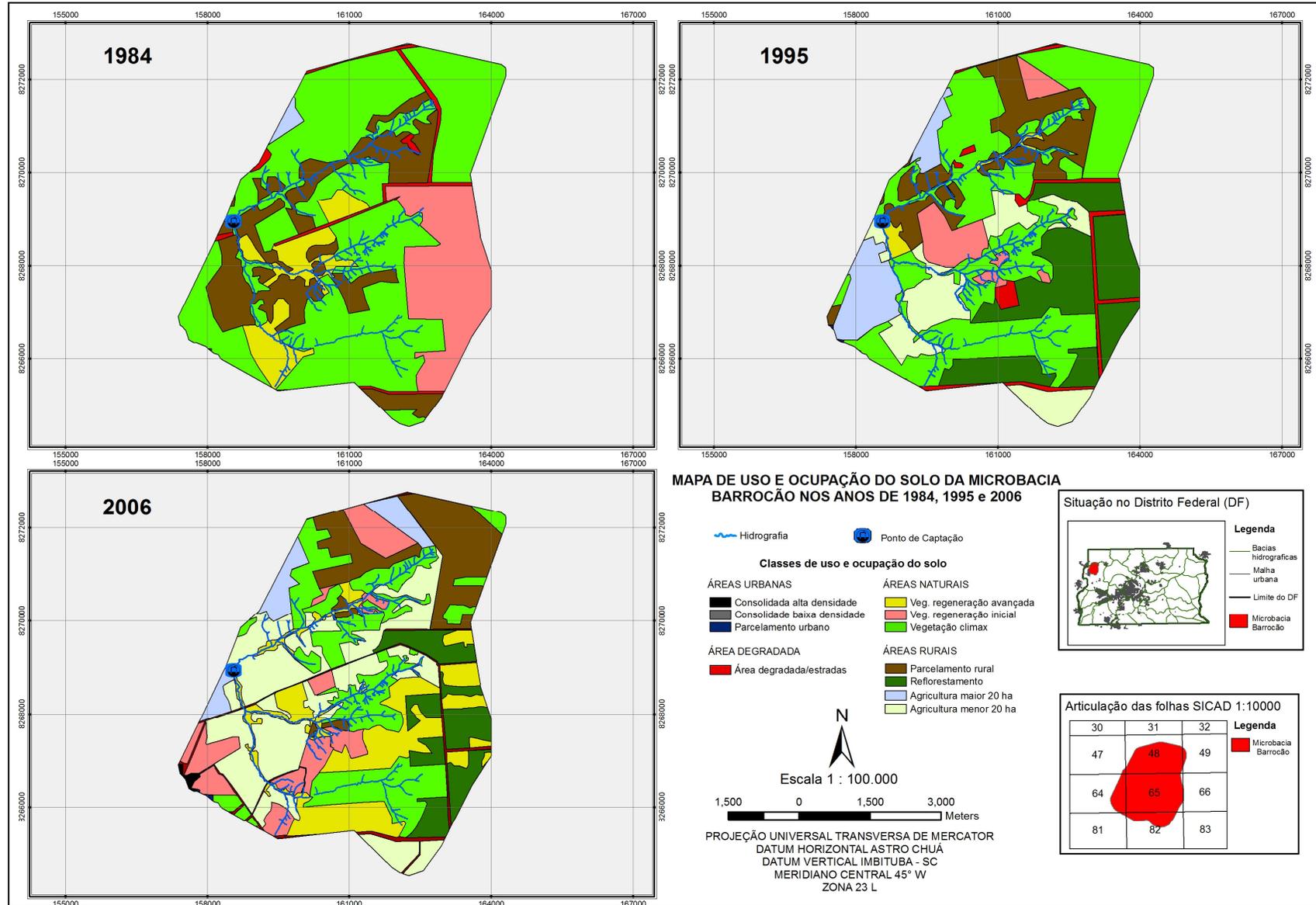


Figura 09 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Barroção nos anos de 1984, 1995 e 2006.

A dimensão de qualidade da água também influenciou a que nos valores do ISBH da microbacia do Barroão. O indicador de IQA passou de 0.6 em 1984 para 0.4 em 2006, e o indicador de turbidez caiu de 0.5 em 1984 a 0 (zero) em 2006. Essa queda percebida de maneira mais acentuada na turbidez é reflexo do aumento do parcelamento do solo, diminuição de áreas com cobertura vegetal e impermeabilização do solo (gráfico 05, a seguir). Merece destaque ainda, a queda no indicador de integridade de APP e de urbanização do entorno da microbacia referentes a dimensão político institucional que se comportou de forma análoga a dimensão ambiental e de qualidade de água (gráfico 04, acima).

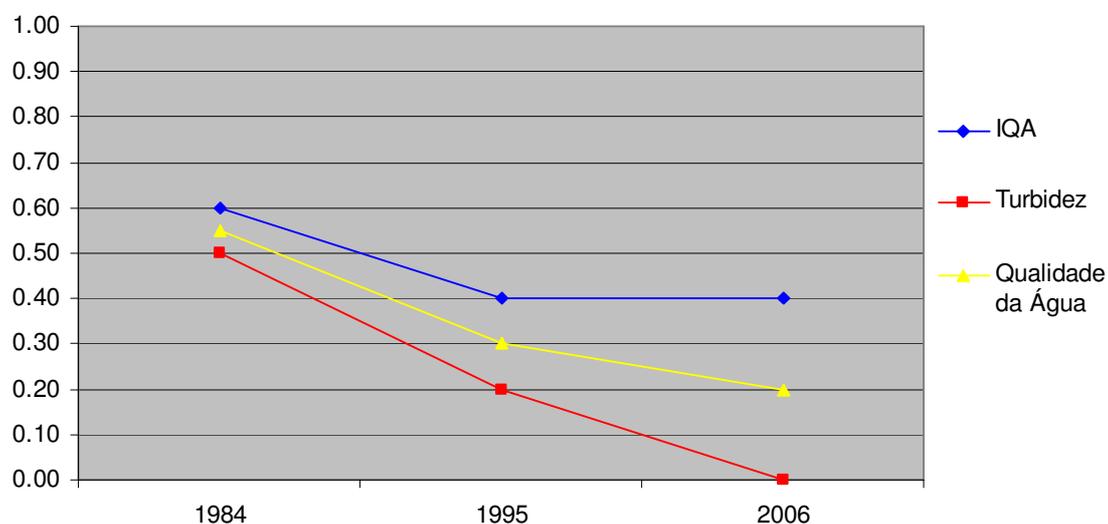


Gráfico 05. Variação do indicador do Índice de Qualidade da Água (IQA), do indicador de Turbidez e da dimensão de qualidade da água, nos anos de 1984, 1995 e 2006, para microbacia do córrego Barroão.

### Córrego Capão da Onça

O ISBH da microbacia do córrego Capão da Onça manteve-se relativamente estável no período estudado (tabela 31). A dimensão ambiental registrou ligeira queda entre os anos de 1984 e 1995, no entanto, essa tendência não evoluiu. As dimensões de qualidade de água e político institucional não apresentaram mudanças significativas. Apenas os indicadores socioeconômicos evoluíram, pelos mesmos motivos apresentados para microbacia Barroco, significativamente (gráfico 06).

Tabela 31. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Capão da Onça para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Ambiental	Qualidade da Água	Sócio Econômico	Político Institucional	ISBH
Capão da Onça	1984	0.75	0.75	0.10	0.80	0.60
	1995	0.70	0.85	0.40	0.80	0.69
	2006	0.70	0.70	0.57	0.80	0.69

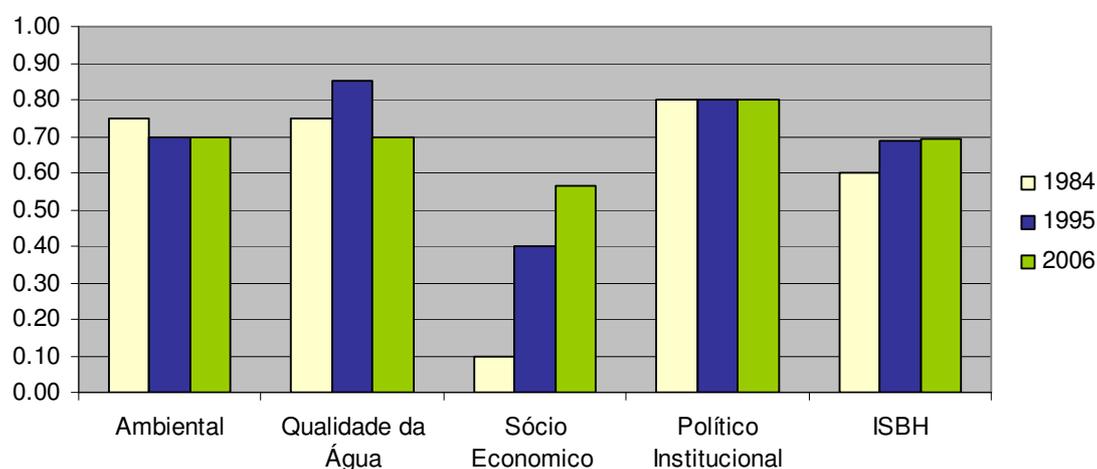


Gráfico 06. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Capão da Onça.

A evolução do uso e ocupação do solo não apresentou mudanças significativas, principalmente a partir de 1995 (figura 10). Essa tendência deve-se, possivelmente, pela criação em 1999 da Floresta Nacional de Brasília, que abrange cerca de 90% da microbacia.

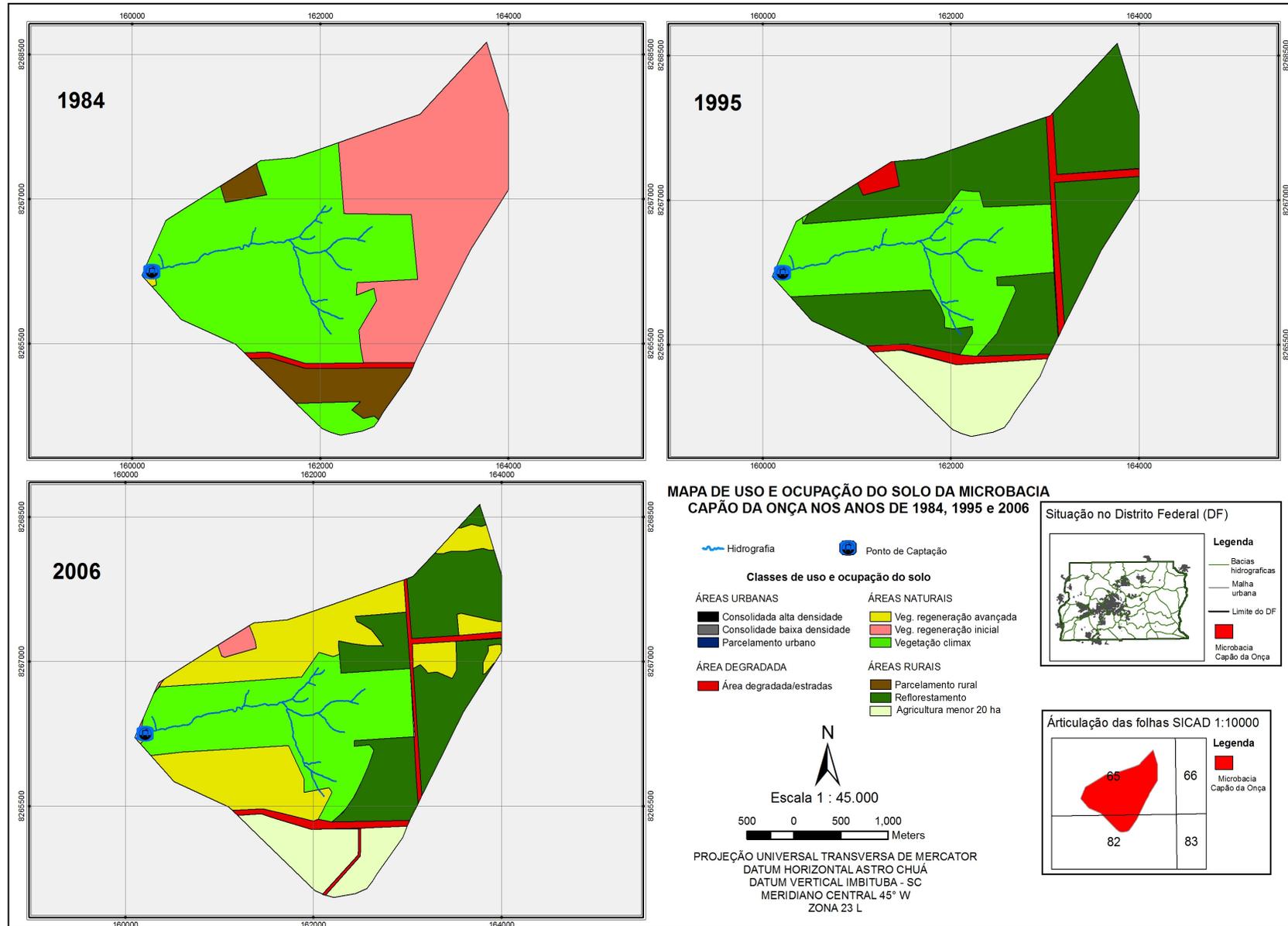


Figura 10 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Capão da Onça nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Córrego Currais

O ISBH para microbacia do córrego Currais apresentou valores muito baixos desde o ano de 1984 (gráfico 07). Os indicadores das dimensões ambiental e de qualidade de água caíram quase 100% no período estudado. As variáveis básicas que compõem os indicadores da dimensão de qualidade de água, que resultaram no valor 0 (zero) para essa dimensão em 1995, não foram medidas para o ano de 2006. Isso ocorreu porque a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) deixou de integrar o sistema de abastecimento de água do Distrito Federal com os recursos desse manancial. Segundo a CAESB (2005), a água do córrego Currais, em função de sua qualidade, deixou de ser viável para fazer parte da rede de abastecimento operado pela companhia.

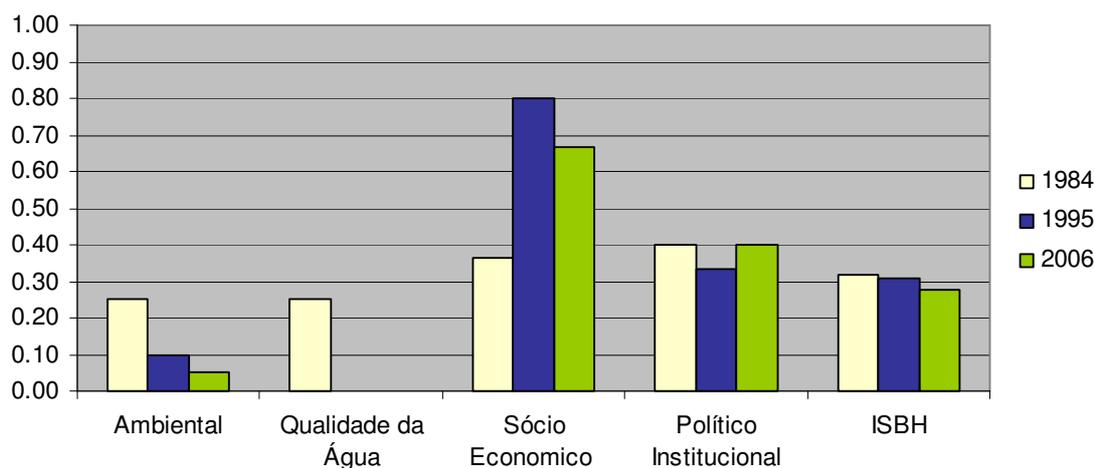


Gráfico 07. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Currais.

A dimensão socioeconômica do ISBH para essa microbacia foi a que apresentou os maiores valores. Isso ocorreu em função da proximidade, e sobreposição parcial, da área de um importante centro urbano consolidado do Distrito Federal: a cidade satélite de Taguatinga. A dimensão político institucional também apresentou valores médios, com ligeira alta no período 1995 a 2006. Esse fato deve-se ao indicador de cobertura por unidade de conservação que aumentou com a criação da Floresta Nacional de Brasília que abrange 26% da área da microbacia. No entanto, como pode ser observado na figura 11, a seguir, esse fato não influenciou significativamente na dinâmica de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Currais.

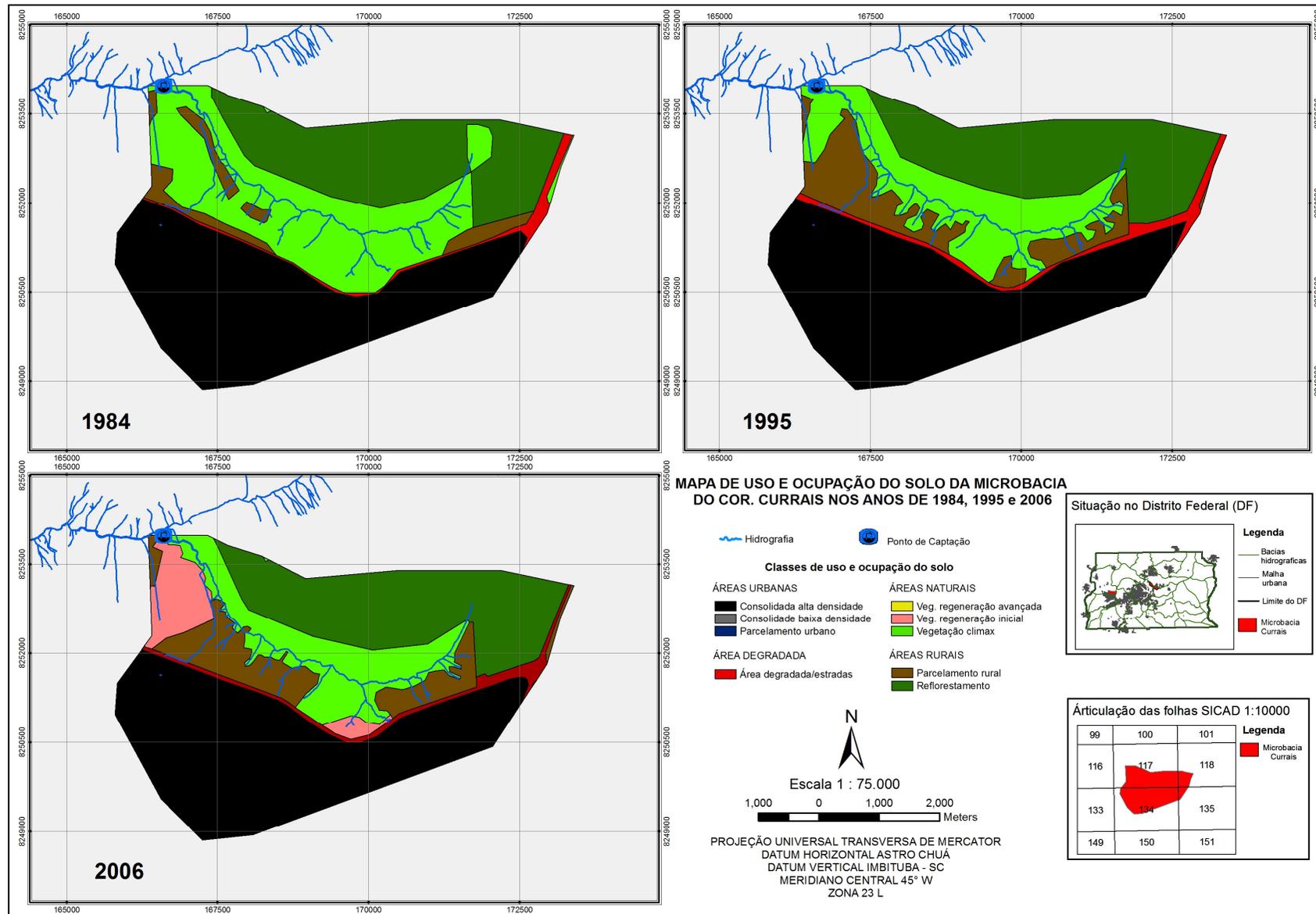


Figura 11 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Currais nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Ribeirão Pedras

O ISBH referente à microbacia do ribeirão Pedras sofreu ligeira alta no período 1984 a 1995 e depois ficou constante, em 0.77, até 2006. A alta nesse período se deve, principalmente, a variação na dimensão socioeconômica que passou de 0.37 para 0.67 (tabela 32).

Tabela 32. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do ribeirão Pedras para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Ambiental	Qualidade da Água	Sócio Econômico	Político Institucional	ISBH
	1984	0.85	0.70	0.37	0.80	<b>0.68</b>
Pedras	1995	0.85	0.75	0.67	0.80	<b>0.77</b>
	2006	0.85	0.70	0.70	0.80	<b>0.77</b>

As demais dimensões do ISBH permaneceram relativamente constantes e em patamares elevados no período de estudo (gráfico 8). Esse resultado era esperado pelo elevado grau de preservação da microbacia, influenciado pela proximidade do Parque Nacional de Brasília, por estar inserida em quase sua totalidade em na Floresta Nacional de Brasília. Outro fator que fortalece essa microbacia é a quase exclusividade de sua área para fins de reflorestamento e preservação (figura 12).

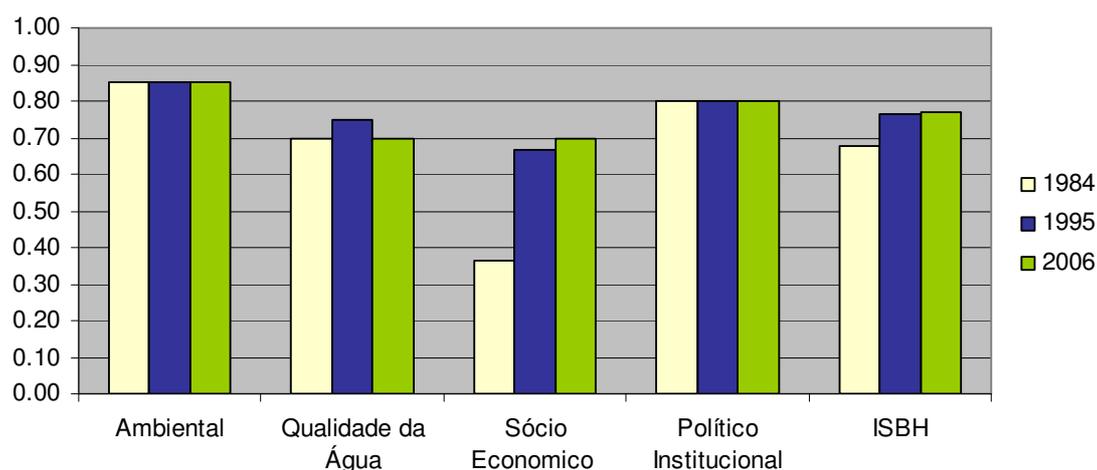


Gráfico 08. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do ribeirão Pedras.

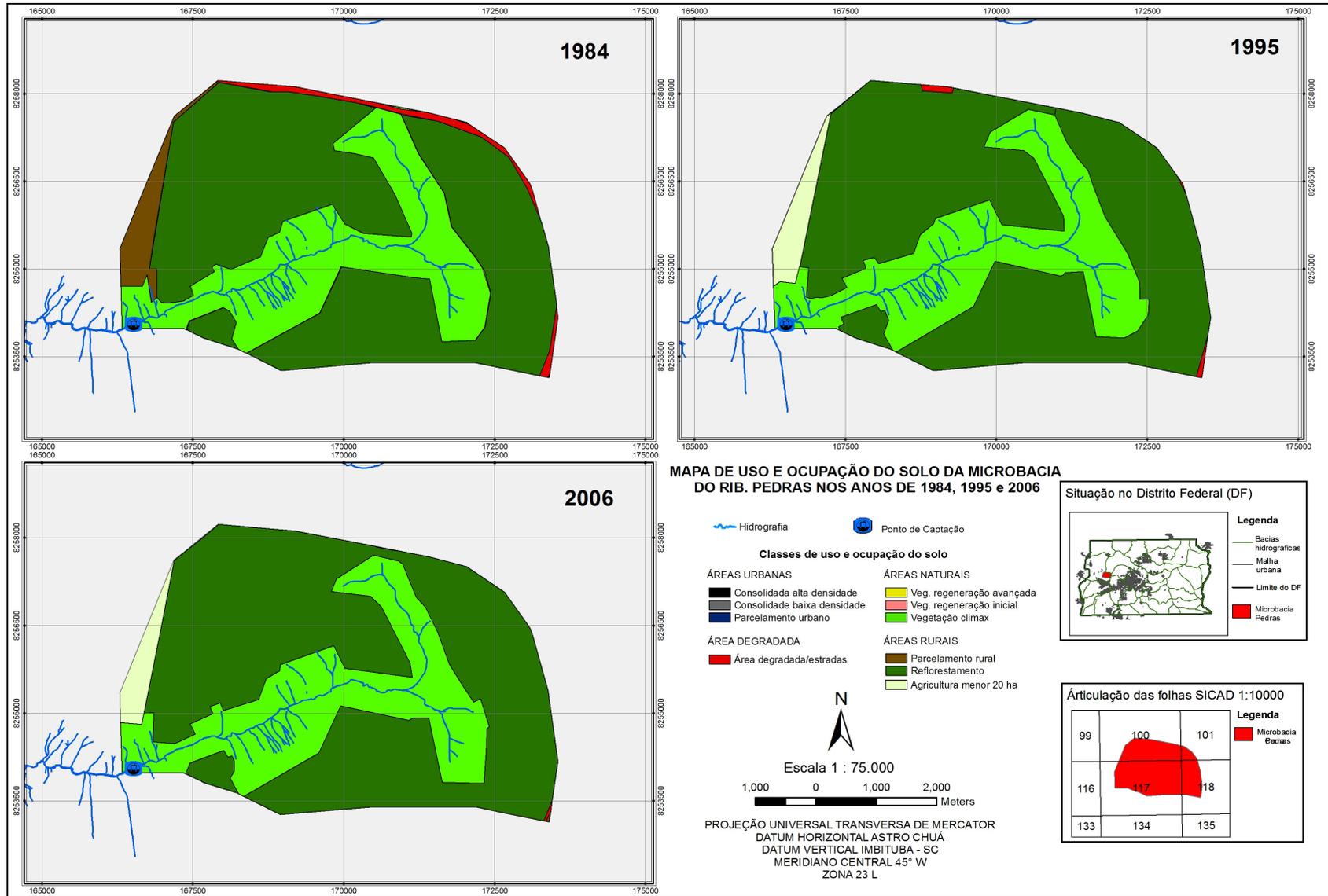


Figura 12 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Pedras nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Córrego Fumal

A microbacia do córrego Fumal também apresentou tendência de estabilidade do ISBH no período estudado. Os valores do índice tiveram uma ligeira alta no período de 1984 a 1995, passando de 0.58 para 0.67. Esse fato deve-se a elevação nos indicadores da dimensão socioeconômica (tabela 33).

Tabela 33. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Fumal para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Ambiental	Qualidade da Água	Sócio Econômico	Político Institucional	ISBH
Fumal	1984	0.70	sleitura	0.10	0.93	<b>0.58</b>
	1995	0.70	0.65	0.40	0.93	<b>0.67</b>
	2006	0.70	0.60	0.40	0.93	<b>0.66</b>

As dimensões ambiental e político institucional permaneceram constantes nos três anos da pesquisa (gráfico 09). Quanto à dimensão de qualidade de água, essa não foi contabilizada para o ano de 1984, uma vez que os dados de IQA e turbidez do córrego Fumal começaram a ser coletados no ano de 1996 quando a captação entrou em operação. Sendo assim, os indicadores dessa dimensão para o ano de 1995 referem-se ao ano de 1996.

A tendência de estabilização do ISBH para microbacia do Fumal pode ser explicada pela sobreposição de aproximadamente 80% da área da microbacia pela Estação Ecológica de Águas Emendadas. Essa sobreposição sugere uma maior preocupação com a preservação da microbacia, que pode ser observada na figura 13.

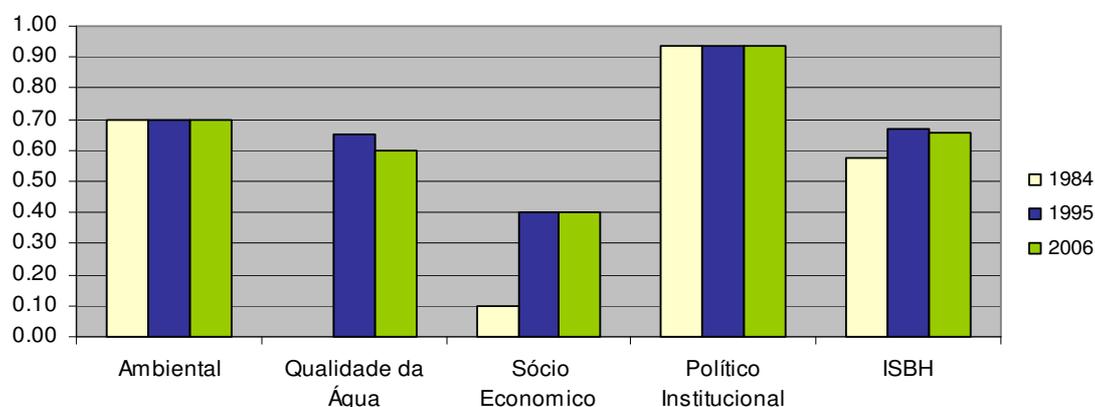


Gráfico 09. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do ribeirão Fumal.

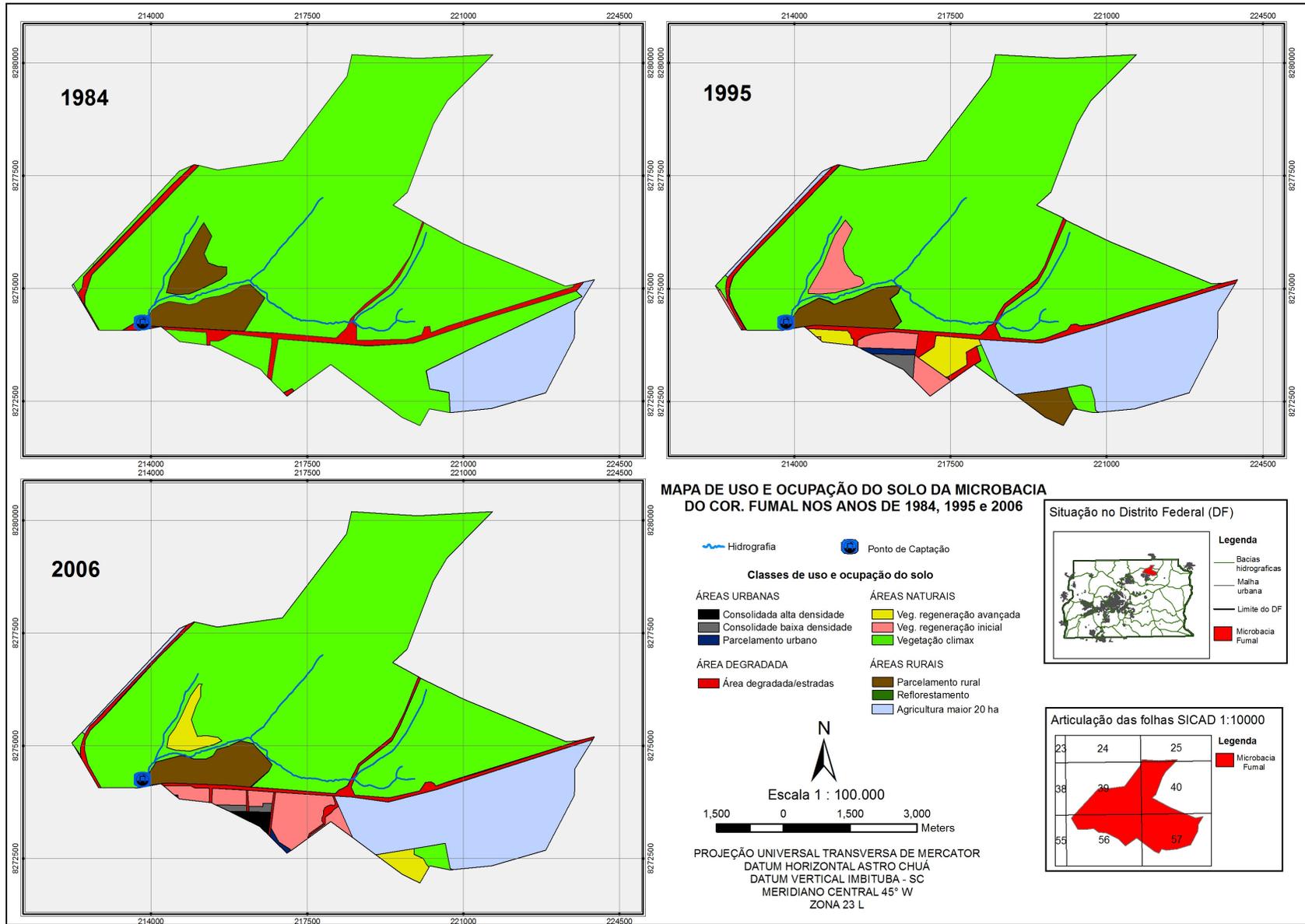


Figura 13 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Fumal nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Córrego Brejinho

O ISBH para microbacia do córrego Brejinho apresentou valores semelhantes aos encontrados na microbacia do Fumal. Uma elevação do ISBH no período 1984 a 1995 e tendência de estabilização a partir de 2006 (gráfico 10).

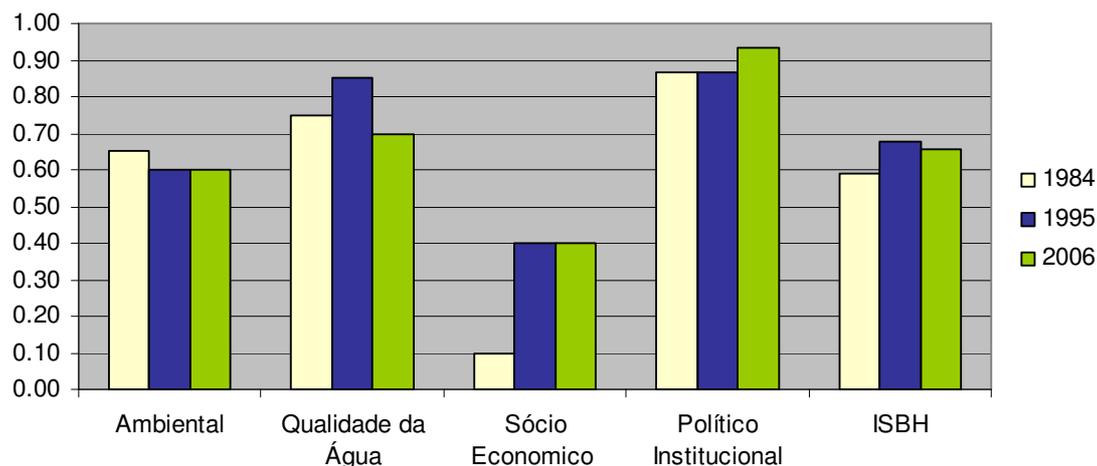


Gráfico 10. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Brejinho.

A dimensão socioeconômica cresceu no período 1984 a 1995 e as demais dimensões permaneceram relativamente constantes (tabela 34). Esse fato também pode ser explicado pela sobreposição com a Estação Ecológica de Águas Emendadas. No entanto, no caso da microbacia do Brejinho essa sobreposição é de apenas 50%, conferindo a possibilidade da outra metade da microbacia ter uso diversificado. A figura 14, a seguir, que apresenta o uso do solo no período estudado, possibilita observarmos a expansão da atividade agrícola na metade sul da microbacia.

Tabela 34. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Brejinho para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Ambiental	Qualidade da Água	Sócio Econômico	Político Institucional	ISBH
Brejinho	1984	0.65	0.75	0.10	0.87	<b>0.60</b>
	1995	0.60	0.85	0.40	0.87	<b>0.68</b>
	2006	0.60	0.70	0.40	0.93	<b>0.66</b>

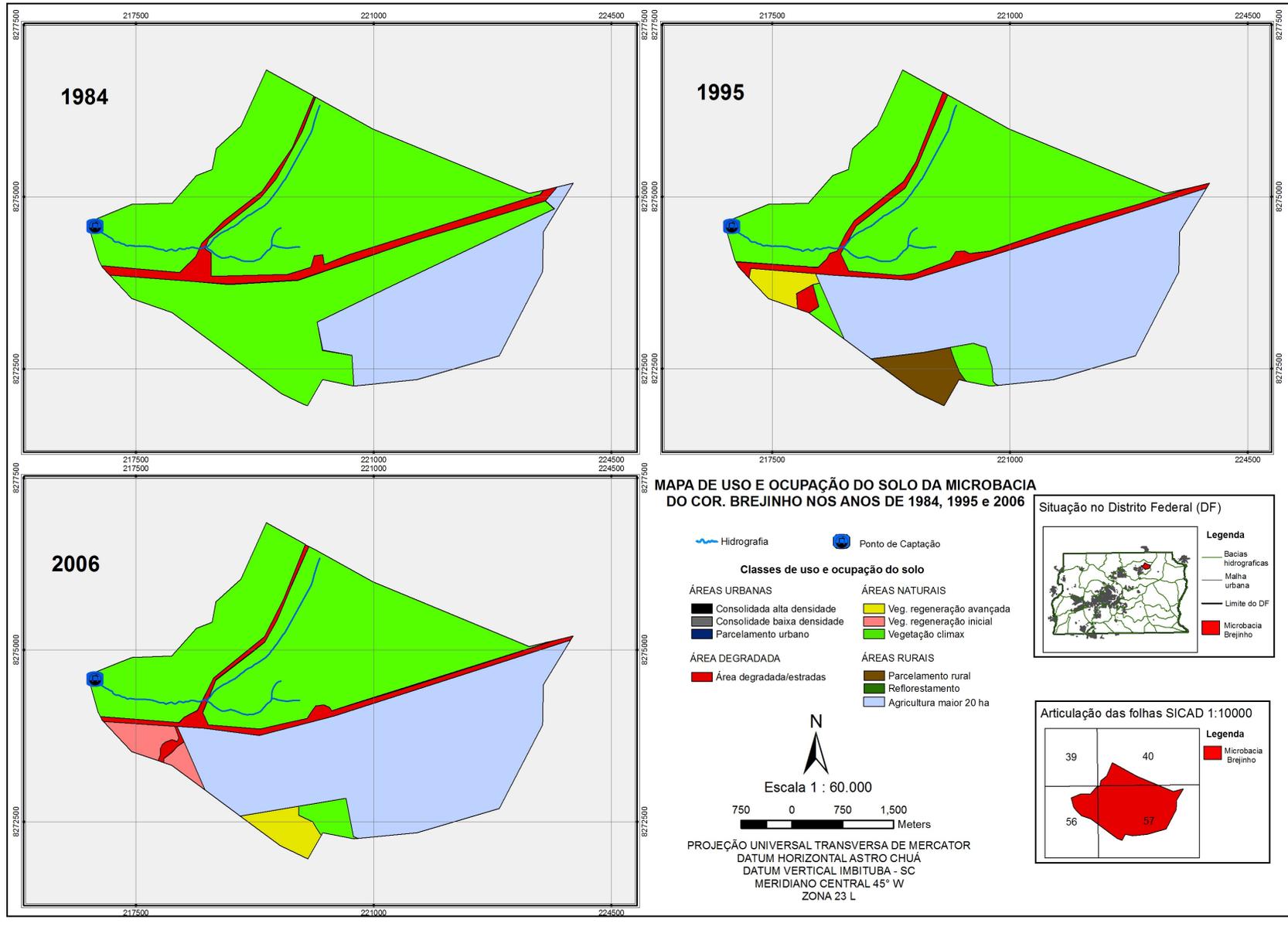


Figura 14 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Brejinho nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Córrego Mestre D'Armas

O ISBH da microbacia do córrego Mestre D'Armas revelou valores baixos para os anos estudados, e uma tendência de queda da sustentabilidade na microbacia. O índice que para o ano de 1984 tem o valor de 0.42, passou por uma ligeira alta em 1995, no entanto, sofreu queda mais significativa em 2006 (tabela 35).

Tabela 35. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Mestre D'Armas para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Ambiental	Qualidade da Água	Sócio Econômico	Político Institucional	ISBH
Mestre D'Armas	1984	0.55	0.35	0.17	0.67	<b>0.43</b>
	1995	0.40	0.35	0.40	0.67	<b>0.44</b>
	2006	0.25	0.35	0.30	0.53	<b>0.36</b>

A elevação do ISBH no período de 1984 a 1995, observada no gráfico (11), deve-se exclusivamente aos indicadores de renda, educação e saúde pública que compõe a dimensão socioeconômica. Cada um desses indicadores cresceu cerca de 100% no período, refletindo em um salto na dimensão econômica do ISBH de 0.17 para 0.40. As demais dimensões tiveram ligeira queda (ambiental e de qualidade da água), ou se manteve constante (político institucional).

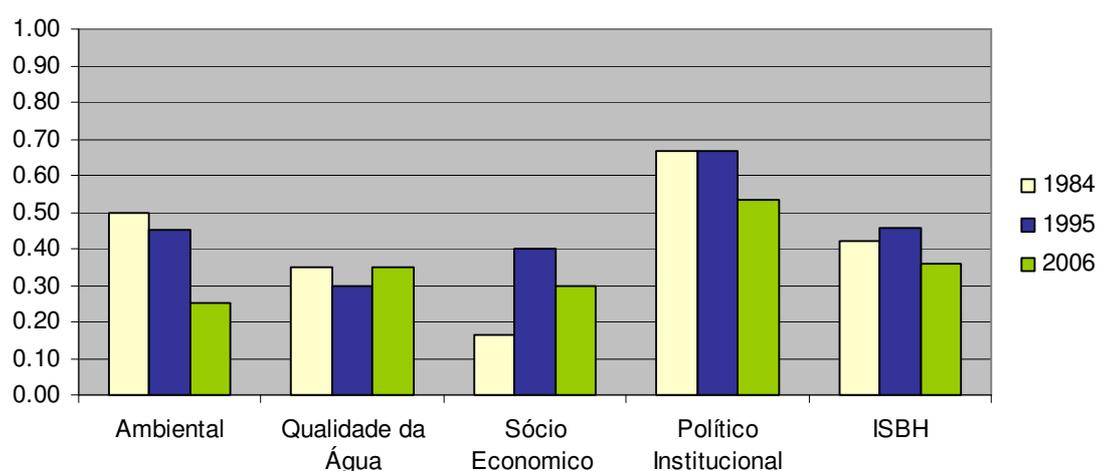


Gráfico 11. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Mestre D'Armas.

Analisando os resultados do ISBH em todo período de estudo, nota-se que a dimensão ambiental seguida pela político institucional são as responsáveis pela queda do índice da microbacia Mestre D'Armas. Os indicadores de cobertura vegetal, risco de erosão e área impermeabilizada caíram significativamente (tabela 36).

Tabela 36. Resultado dos indicadores da dimensão ambiental e da própria dimensão ambiental da microbacia do córrego Mestre D'Armas para os anos estudados.

<b>Microbacia</b>	<b>Ano</b>	<b>Cobertura Vegetal</b>	<b>Risco de Erosão</b>	<b>Densidade de estradas</b>	<b>Área Impermeabilizada</b>	<b>Ambiental</b>
	1984	0.60	0.60	0.40	0.60	0.55
Mestre	1995	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
D'Armas	2006	0.20	0.20	0.40	0.20	0.25

Essa queda está, possivelmente, relacionada com aumento da transformação de áreas de vegetação nativa em áreas agrícolas e urbanas. A figura 15, que apresenta a evolução do uso e ocupação do solo na microbacia, permite observarmos a diminuição da área com cobertura vegetal nativa, que já não era muito extensa em 1984, assim como a evolução da fragmentação do uso do solo, inclusive com o aparecimento de novas classes, no período estudado.

Por fim, vale destacar a forte queda sofrida pelo indicador de urbanização do entorno da microbacia pertencente a dimensão político institucional. Esse indicador passou de 0.8 em 1995 para 0.4 em 2006 (tabela 37). A razão dessa queda pronunciada é a urbanização que a região da microbacia do córrego Mestre D'Armas vem sofrendo nos últimos 10 anos.

Tabela 37. Resultado dos indicadores da dimensão político institucional e da própria dimensão político institucional da microbacia do córrego Mestre D'Armas para os anos estudados.

<b>Microbacia</b>	<b>Ano</b>	<b>Taxa de urbanização do entorno</b>	<b>Integridade de APP</b>	<b>Cobertura por com Unidades de Conservação</b>	<b>Político institucional</b>
	1984	0.80	0.40	0.80	0.67
Mestre D'Armas	1995	0.80	0.40	0.80	0.67
	2006	0.40	0.40	0.80	0.53

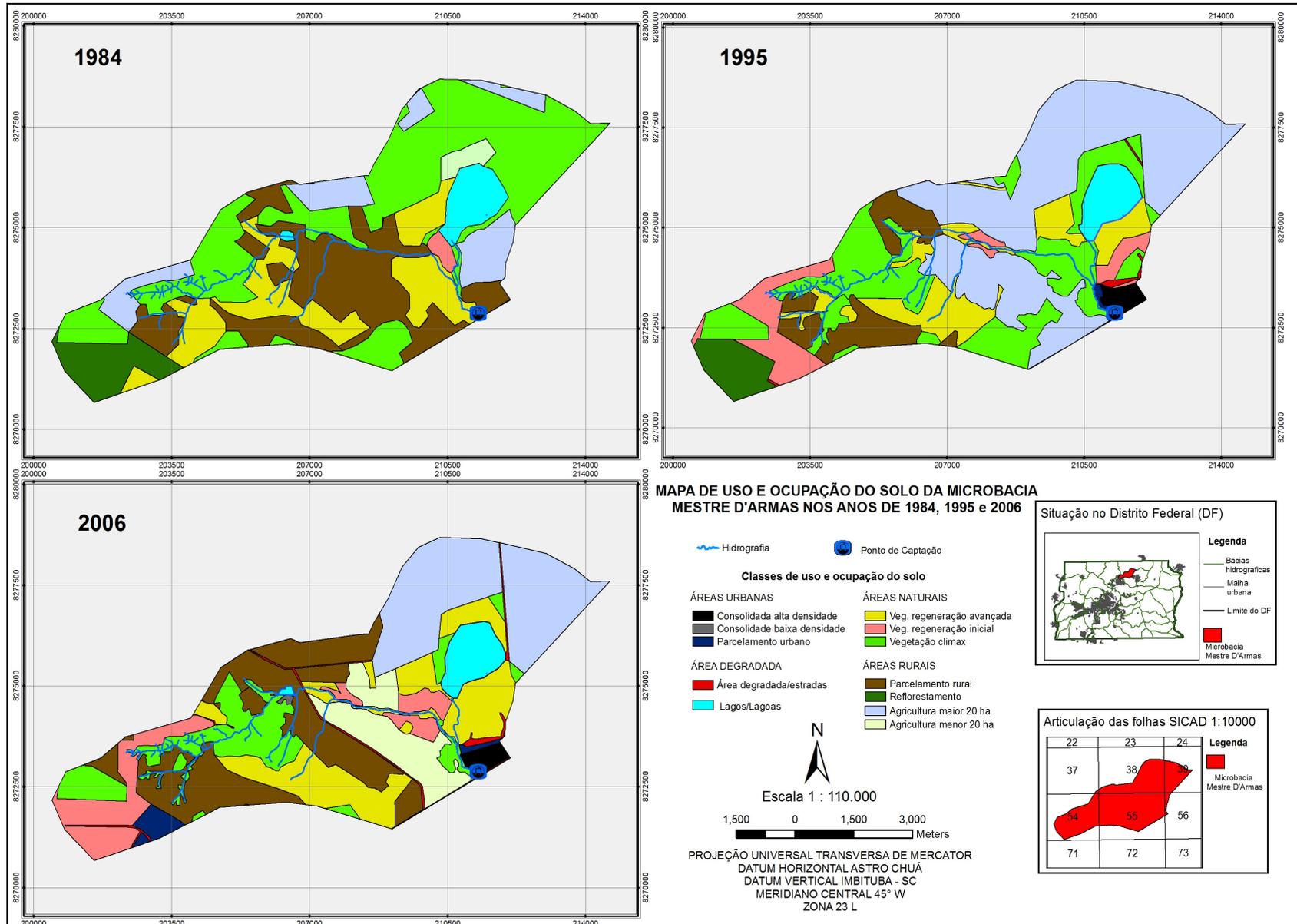


Figura 15 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Mestre D'Armas nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Ribeirão Corguinho

O ISBH para microbacia do ribeirão Corguinho permaneceu relativamente constante no período estudado. Os valores variaram de 0.62, 0.66 e 0.64, para os anos de 1984, 1995 e 2006 respectivamente (tabela 38).

Tabela 38. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do ribeirão Corguinho para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Ambiental	Qualidade da Água	Sócio Econômico	Político Institucional	ISBH
Corguinho	1984	0.80	0.85	0.17	0.67	<b>0.62</b>
	1995	0.75	0.90	0.40	0.60	<b>0.66</b>
	2006	0.65	0.85	0.40	0.67	<b>0.64</b>

A dimensão socioeconômica aumentou no período de 1984 a 1995, passando de 0.17 a 0.40, e manteve-se constante de 1995 a 2006. Por outro lado, a dimensão ambiental apresentou tendência de queda no período da pesquisa (gráfico 12). A queda na dimensão ambiental pode ser compreendida com a análise do mapa de uso do solo da microbacia (figura 16). O mapa ilustra a substituição de áreas com cobertura vegetal por áreas agrícolas. Apesar da zona ripária do ribeirão Corguinho ainda se manter preservada, fica nítida a pressão que o entorno agrícola e de parcelamentos de solo exerce na microbacia.

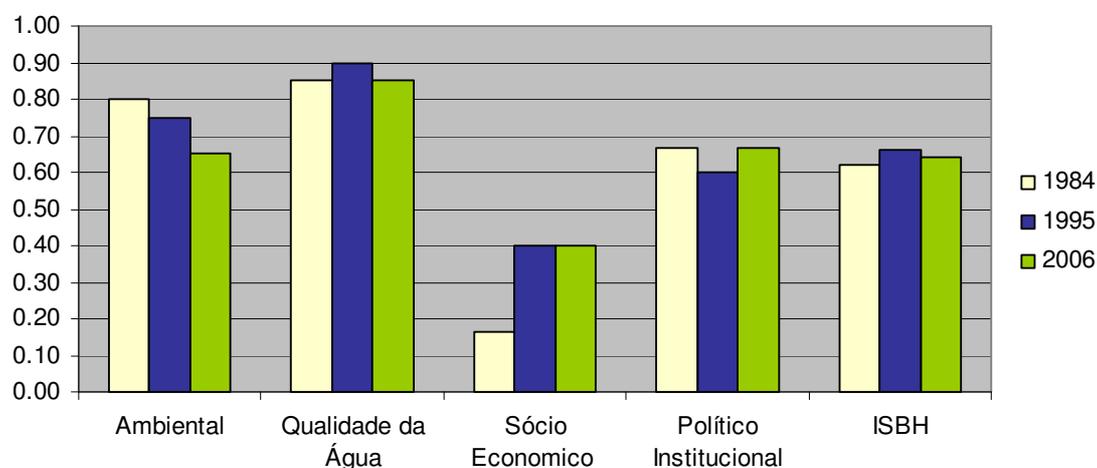


Gráfico 12. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do ribeirão Corguinho.

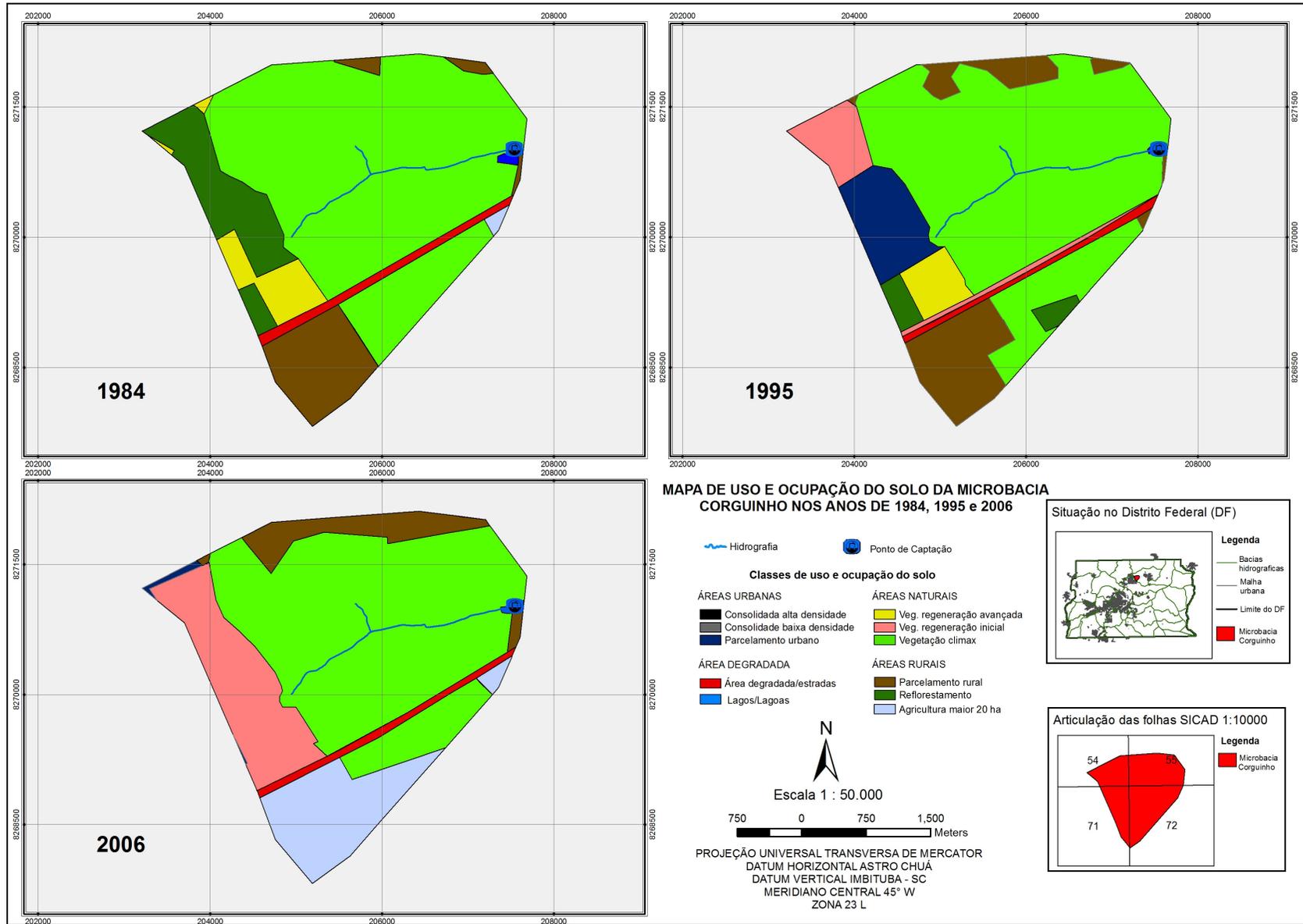


Figura 16 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do ribeirão Corguinho nos anos de 1984, 1995 e 2006.

### Córrego Quinze

A aplicação do ISBH na microbacia do córrego Quinze apontou uma queda da sustentabilidade no período estudado. Os valores do índice passaram de 0,61 em 1984 para 0.45 em 2006 (tabela 39). Todas as dimensões do ISBH, exceto a econômica, caíram nesse período (gráfico 13).

Tabela 39. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH da microbacia do córrego Quinze para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Ambiental	Qualidade da Água	Sócio Econômico	Político Institucional	ISBH
Quinze	1984	0.80	0.60	0.10	0.93	<b>0.61</b>
	1995	0.50	0.60	0.40	0.87	<b>0.59</b>
	2006	0.45	0.20	0.33	0.80	<b>0.45</b>

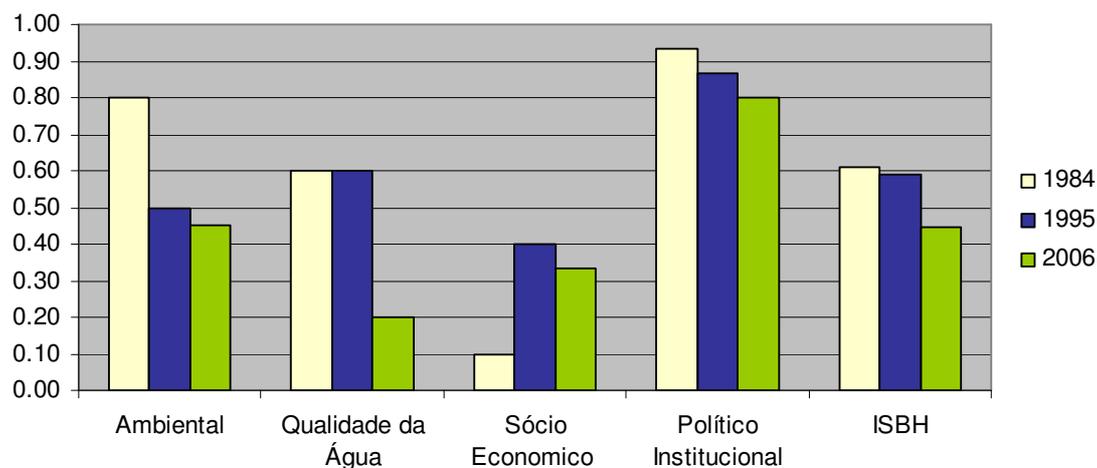


Gráfico 13. Variação das dimensões do ISBH e do próprio ISBH, nos anos estudados, para microbacia do córrego Quinze.

A dimensão ambiental foi a que mais influenciou a tendência de queda do ISBH nessa microbacia, apresentando uma queda de 0.8 em 1984 à 0.45 em 2006. Os indicadores que mais contribuíram para essa queda foram: a cobertura vegetal, que sofreu abrupta queda de 1984 a 1995, passando de 1 (um) a 0.4, respectivamente; o risco de erosão; e o aumento de áreas impermeabilizadas na microbacia. A tabela 40, a seguir apresenta os valores dos indicadores dessa dimensão.

Tabela 40. Resultado dos indicadores da dimensão ambiental e da própria dimensão ambiental da microbacia do córrego Quinze para os anos estudados.

Microbacia	Ano	Cobertura Vegetal	Risco de Erosão	Densidade de estradas	Área Impermeabilizada	Ambiental
Quinze	1984	1.00	0.80	0.40	1.00	0.80
	1995	0.40	0.60	0.40	0.60	0.50
	2006	0.40	0.60	0.40	0.40	0.45

A dimensão de qualidade da água apresentou os reflexos da queda dos indicadores ambientais que ocorreram no período de 1984 a 1995, a partir de 2006. Nesse ano, o indicador de qualidade da água caiu de 0.6 (em 1995) para 0.4 e a turbidez passou de 0.6 para 0 (zero) no mesmo período (gráfico 14). Esse fato pode ser explicado pela diminuição no valor do indicador de risco de erosão e pela diminuição da cobertura vegetal da microbacia. Esses fatores contribuem para o aumento do carreamento de sedimento para os corpos hídricos afetando diretamente a turbidez.

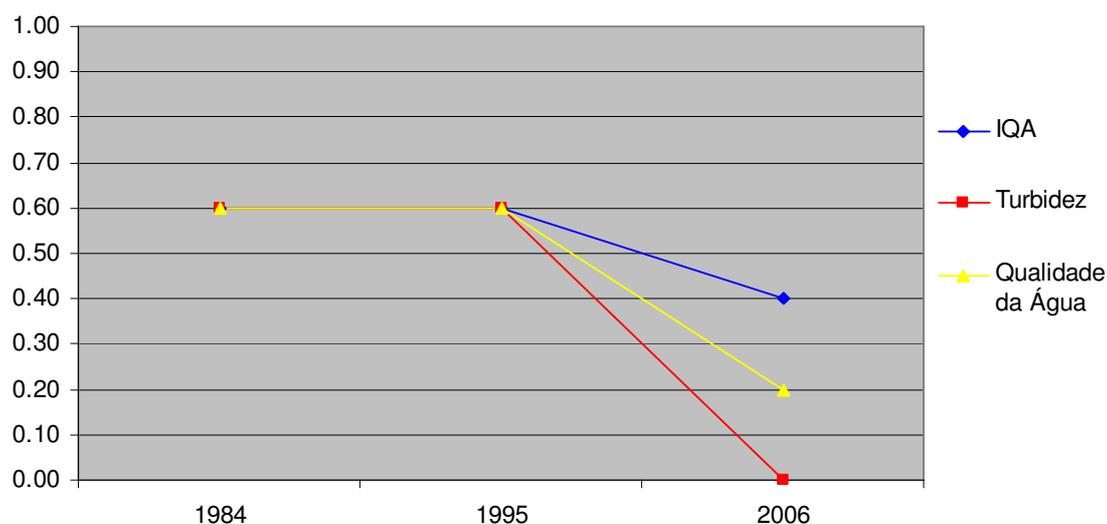


Gráfico 14. Variação do indicador do Índice de Qualidade da Água (IQA), do indicador de Turbidez e da dimensão de qualidade da água, nos anos de 1984, 1995 e 2006, para microbacia do córrego Quinze.

Ao se analisar o mapa de uso do solo da microbacia do Quinze (figura 17) é possível constatar o severo processo de desmatamento pelo qual essa microbacia passou, notadamente entre 1984 e 1995. Provavelmente, a substituição da vegetação natural por áreas agrícolas de pequeno e médio porte é a maior responsável pelas quedas percebidas no ISBH da microbacia do córrego Quinze.

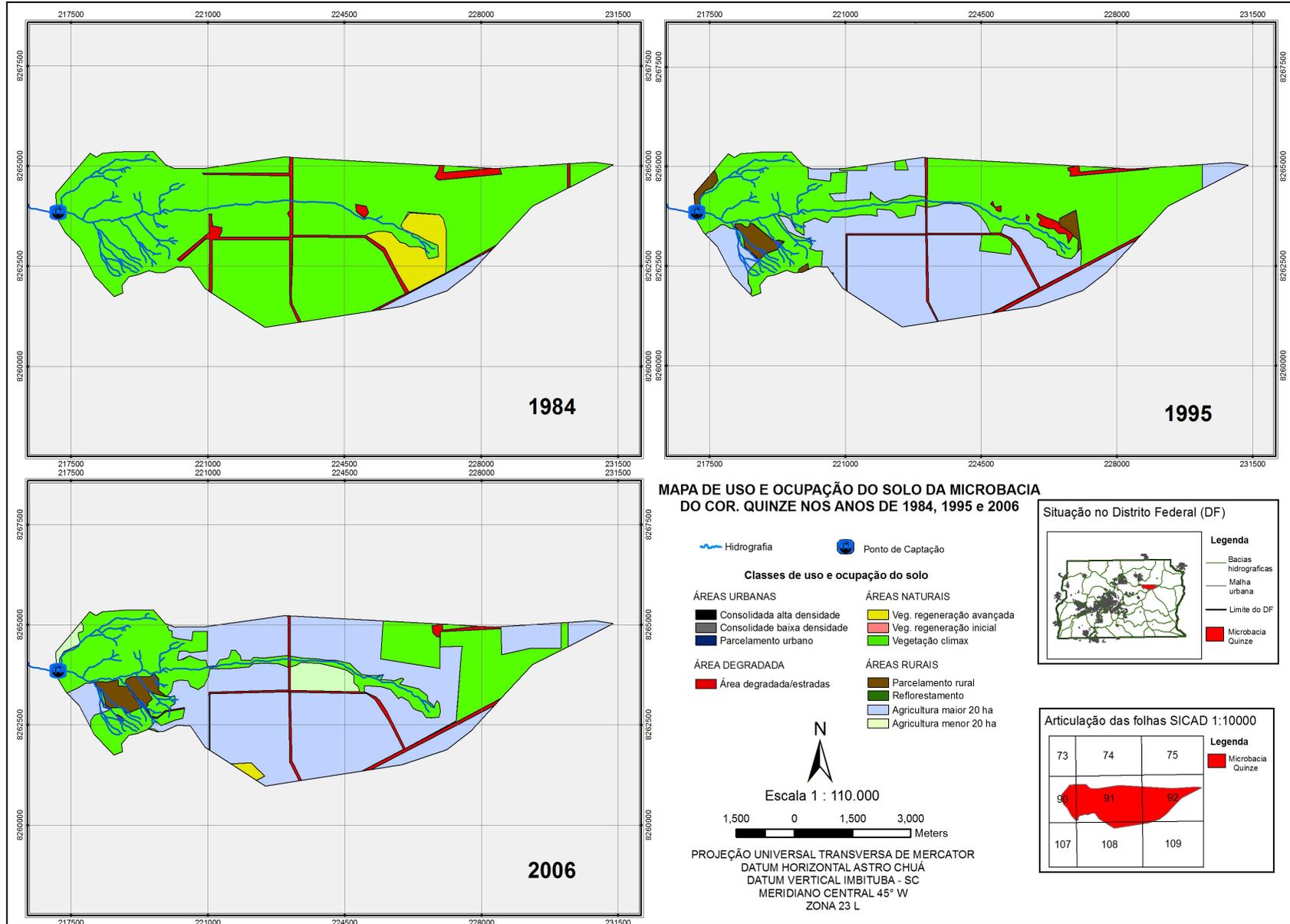


Figura 17 Mapa de uso e ocupação do solo da microbacia do córrego Quinze nos anos de 1984, 1995 e 2006.

## 6.2. ANÁLISE COMPARATIVA DO ISBH ENTRE AS MICROBACIAS

A aplicação do ISBH para as 11 microbacias estudadas, além de permitir conclusões pontuais quanto à sustentabilidade de cada microbacia, possibilita também o estabelecimento de uma análise comparativa entre as microbacias. Essa análise pode atingir diversos objetivos, a saber: estabelecimento de critérios para hierarquização das microbacias com maior, ou menor grau de conflito; identificação das microbacias com necessidade de ações prioritárias; e a análise das tendências de sustentabilidade para as microbacias.

Os resultados da análise comparativa entre o ISBH das microbacias estão apresentados no gráfico 15, a seguir.

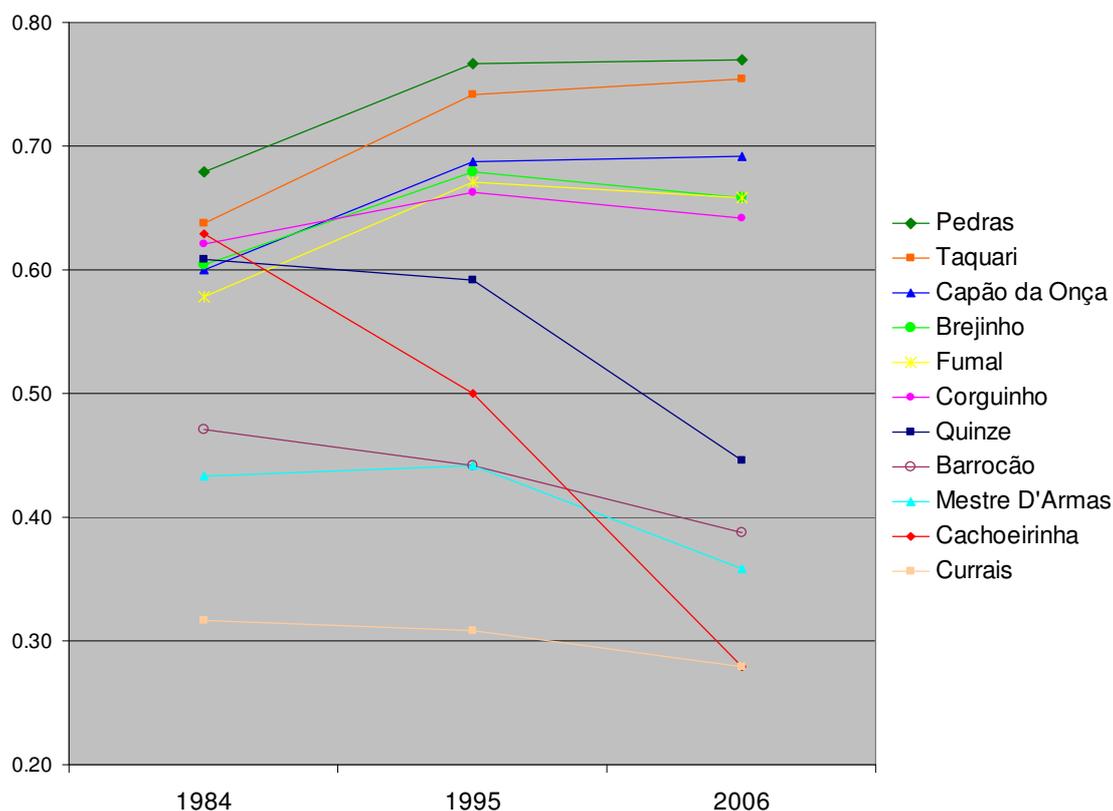


Gráfico 15. Análise comparativa do ISBH entre as 11 microbacias estudadas. A legenda das microbacias está apresentada em ordem decrescente do valor do ISBH.

Ao analisarmos o gráfico acima, observamos que as microbacias do ribeirão Pedras e do córrego Taquari se destacaram em relação as demais, formando um grupo de microbacias com valores de ISBH acima de 0.75. Esse resultado indica que a estratégia de gestão adotada nessas microbacias foi positiva. A microbacia do ribeirão Pedras possui mais de 95% de sua área inserida na Floresta Nacional de Brasília,

unidade de conservação cuja terra é de propriedade do Estado. No caso do córrego Taquari a CAESB, parcialmente responsável pela gestão da microbacia de acordo com a Lei Complementar nº 17, de 28 de janeiro de 1997, vem implementando ações efetivas de controle fiscalização, como o cercamento de 80% da microbacia.

Outro conjunto de microbacias, também com resultados positivos do ISBH, é formado pelas microbacias dos córregos Capão da Onça, Brejinho, Fumal e Corguinho. Para essas microbacias o ISBH também apresentou valores relativamente altos, em torno de 0.65. No entanto, no período 1995 a 2006, a tendência de alta no índice não foi expressiva, inclusive ocorrendo ligeiras baixas nas microbacias da região de Planaltina (tabela 41).

O gráfico 15, ilustra ainda uma tendência de queda acentuada do ISBH para as microbacias dos córregos Cachoeirinha, Quinze e Mestre D'Armas. Os valores das dimensões e dos indicadores do ISBH são apresentados nas tabelas 41, a seguir, e 42, 43, 44 e 45, anexo.

Para microbacia do Mestre D'Armas os indicadores de cobertura vegetal, de risco de erosão e de área impermeabilizada, todos pertencentes à dimensão ambiental foram os maiores responsáveis pela queda do ISBH. Esses indicadores estão relacionados ao aumento da conversão de áreas naturais em áreas rurais (agrícolas ou chácaras) e urbanas.

No caso da microbacia do córrego Cachoeirinha as maiores quedas foram percebidas nos indicadores de cobertura vegetal e área impermeabilizada (dimensão ambiental), urbanização do entorno (dimensão político institucional), e turbidez (dimensão de qualidade da água). Esses indicadores demonstraram que a maior pressão sofrida por essa microbacia está relacionada ao aumento da malha urbana.

A microbacia do córrego Quinze apresenta situação semelhante a do Cachoeirinha. No entanto, no caso do Quinze o principal fator de pressão é exercido pela intensa expansão da atividade agrícola. Os indicadores de turbidez e cobertura vegetal, referentes as dimensões de qualidade da água e ambiental, respectivamente, foram os envolvidos com as maiores quedas sofridas pelo ISBH.

O último grupo de microbacias que pode ser identificado pela análise do gráfico 15, é constituído pelos córregos Currais e Barroão. Essas microbacias apresentaram ligeira queda do ISBH nos anos estudados. No caso do córrego Currais, essa queda é justificada pela continuidade na expansão da malha urbana no interior e entorno da microbacia. Outro fator contribuiu para os baixos valores do ISBH foi o indicador de

risco de erosão que teve forte queda de 1984 a 2006. A dimensão de qualidade da água, que chegou a 0 (zero) em 1995, foi uma das maiores responsáveis pela queda do ISBH e pela suspensão da operação desse manancial como fonte de abastecimento.

A microbacia do córrego Barroirão também apresentou valores baixos do ISBH, mas em níveis melhores do que os da microbacia do córrego Currais. O Barroirão teve nos indicadores de cobertura vegetal e turbidez os maiores responsáveis por essa queda.

Em uma análise geral dos resultados do ISBH, pode-se estabelecer um corte entre microbacias com tendência de manutenção ou até melhoria da sustentabilidade, e microbacias com tendência a diminuição da sustentabilidade, inclusive sob risco de comprometimento dos corpos hídricos dessas microbacias como mananciais para abastecimento humano.

Esse corte pode ser estabelecido pelo valor do ISBH. Se considerarmos os valores do ISBH acima de 0.6 como satisfatórios e os valores abaixo de 0,6 como preocupantes, teremos um corte onde as microbacias dos córregos Quinze, Currais, Cachoeirinha, Mestre D'Armas e Barroirão merecem atenção especial. E as microbacias dos córregos Taquari, Capão da Onça, Brejinho e Fumal e dos ribeirões Pedras e Corguinho estão em uma situação relativamente mais confortável. O gráfico 16, a seguir, objetiva ilustrar essa proposta de diferenciação entre as microbacias (corte).

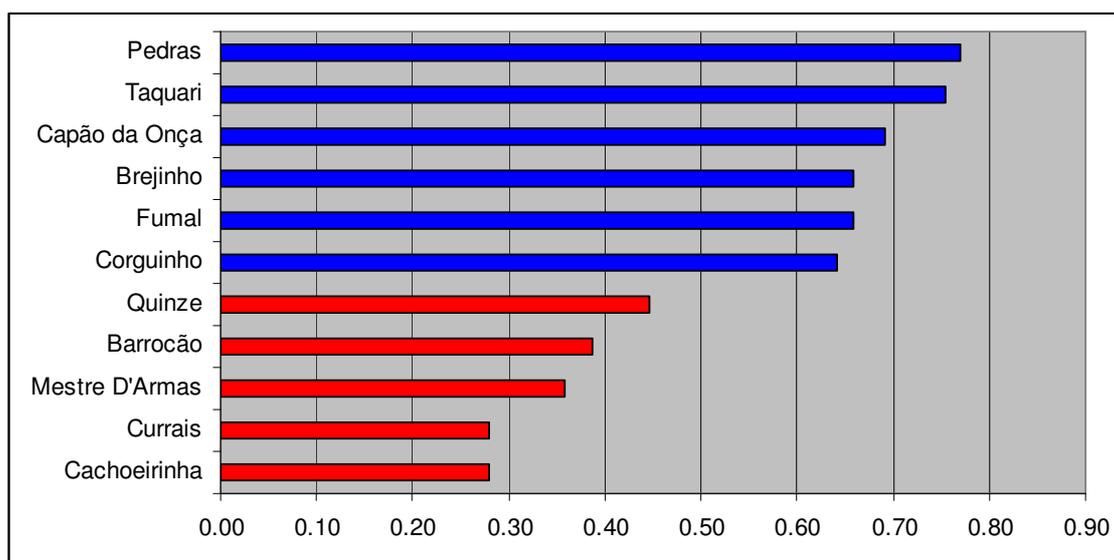


Gráfico 16. Resultado do ISBH das 11 microbacias estudadas, para o ano de 2006, com proposta de corte entre aquelas com comprometimento da sustentabilidade (colunas em vermelho) e aquelas com a situação relativamente mais confortável (colunas em azul).

Tabela 41. Resultado das dimensões que compõem o ISBH e do próprio ISBH das microbacias estudadas por região.

Região	Microbacia	Ano	Ambiental	Qualidade da Água	Sócio Econômico	Político Institucional	ISBH
Paranoá	Taquari	1984	0.50	0.85	0.60	0.60	0.64
		1995	0.45	0.85	0.80	0.87	0.74
		2006	0.60	0.85	0.70	0.87	0.75
	Cachoeirinha	1984	0.60	0.70	0.60	0.67	0.63
		1995	0.30	0.70	0.60	0.40	0.50
		2006	0.15	0.20	0.30	0.47	0.28
Brazlândia	Barrocão	1984	0.55	0.55	0.10	0.73	0.47
		1995	0.40	0.30	0.40	0.67	0.44
		2006	0.25	0.20	0.57	0.53	0.39
	Capão da Onça	1984	0.75	0.75	0.10	0.80	0.60
		1995	0.70	0.85	0.40	0.80	0.69
		2006	0.70	0.70	0.57	0.80	0.69
Planaltina	Fumal	1984	0.70	0.00	0.10	0.93	0.58
		1995	0.70	0.65	0.40	0.93	0.67
		2006	0.70	0.60	0.40	0.93	0.66
	Brejinho	1984	0.70	0.75	0.10	0.87	0.60
		1995	0.60	0.85	0.40	0.87	0.68
		2006	0.60	0.70	0.40	0.93	0.66
	Mestre D'Armas	1984	0.55	0.35	0.17	0.67	0.43
		1995	0.40	0.30	0.40	0.67	0.44
		2006	0.25	0.35	0.30	0.53	0.36
	Corguinho	1984	0.80	0.85	0.17	0.67	0.62
		1995	0.75	0.90	0.40	0.60	0.66
		2006	0.65	0.85	0.40	0.67	0.64
Quinze	1984	0.80	0.60	0.10	0.93	0.61	
	1995	0.50	0.60	0.40	0.87	0.59	
	2006	0.45	0.20	0.33	0.80	0.45	
Taguatinga	Currais	1984	0.25	0.25	0.37	0.40	0.32
		1995	0.10	0.00	0.80	0.33	0.31
		2006	0.05	0.00	0.67	0.40	0.28
	Pedras	1984	0.85	0.70	0.37	0.80	0.68
		1995	0.85	0.75	0.67	0.80	0.77
		2006	0.85	0.70	0.70	0.80	0.77

## 7. CONCLUSÕES

Entende-se que o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (ISBH) possui um caráter inovador e mostrou-se adequado para os objetivos propostos. Conceitualmente, ele integra as dimensões ambiental, de qualidade da água, socioeconômica e político institucional, com pesos equivalentes e sugere indicadores que são reconhecidos nacional e internacionalmente.

Do ponto de vista operacional, o ISBH possibilitou a verificação das condições de sustentabilidade de uma microbacia através de dados secundários, principalmente para composição dos indicadores socioeconômicos, e de levantamentos baseados em ferramentas de geoprocessamento. O índice está baseado em cálculos simples e sua aplicação possui custo relativamente reduzido. Essas características tornam o ISBH um instrumento interessante sob o ponto de vista da gestão pública.

A aplicação do ISBH nas 11 microbacias do Distrito Federal, nos três anos estudados, 1984, 1995 e 2006, possibilitou a identificação das principais tendências de melhoria ou dificuldade na busca pela sustentabilidade de bacias hidrográficas. Os resultados mostraram, por exemplo, que para a microbacia do córrego Taquari e do ribeirão Pedras, as estratégias adotadas na gestão dessas áreas foram bem sucedidas no caminho da busca pela sustentabilidade. Por outro lado, a análise temporal dos resultados do ISBH das microbacias dos córregos Currais e Pedras sugerem que a estratégia adotada pelo poder público para gestão dessas áreas compromete diretamente a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos.

Uma outra leitura dos resultados da aplicação do ISBH nas 11 microbacias estudadas, considerando apenas o momento atual (ano de 2006), permite uma hierarquização entre as microbacias. Esse resultado permite ao tomador de decisão adequar as políticas e estratégias de gestão ao grau de sustentabilidade em que cada microbacia se encontra.

Por fim, as técnicas de geoprocessamento utilizadas e a opção por estruturar o ISBH em uma plataforma SIG, por meio da formação de um banco de dados georreferenciados, conferiu à aplicação do índice, além dos resultados que sugerem a sustentabilidade das microbacias estudadas, um caráter de monitoramento e acompanhamento das tendências de cada microbacia.

O ambiente SIG e a estrutura simples do ISBH, possibilitaram acesso rápido e eficiente às informações que compõem o índice. Essa versatilidade permitiu que os resultados do ISBH para cada microbacia fossem facilmente, e com precisão satisfatória, relacionados aos fatores (dimensões ou indicadores) responsáveis por esses resultados.

Sendo assim, o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas se mostrou uma ferramenta adequada para subsidiar tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas no processo de construção de caminhos mais sustentáveis para a sociedade. Os resultados da aplicação do ISBH estão pautados não somente na proposta da ferramenta de avaliação quanto à sustentabilidade das bacias, mas também na capacidade de apontar os principais responsáveis pelos avanços e retrocessos na busca pela sustentabilidade de bacias hidrográficas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA – Agencia Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal. **Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal**. 2002.
- ADASA – Agencia Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal. **Síntese do Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal e Entorno**. Execução: Câmara Técnica de Recursos Hídricos – CTRH. 2007.
- AGENDA 21 BRASILEIRA. Bases para a discussão/ por Washington Novaes (Coord.) Otto Ribas e Pedro da Costa Novaes. Brasília: MMA/PNUD, 2000.
- ANIDO, N. M. R. **Caracterização Hidrológica de uma Microbacia Experimental Visando Identificar Indicadores de monitoramento ambiental**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2002.
- ASSUNÇÃO NETA, F; BURSZTYN, M. A. A. **Conflitos pelo Uso dos Recursos Hídricos**. In: Suzi Huff Theodoro. (Org.). Conflitos e Uso Sustentável dos Recursos Hídricos. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.
- BACELLAR, L. A. P. **O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas**. Geo.br, Ouro Preto - MG, v. 1, p. 1-43, 2006.
- BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos por meio de geoprocessamento**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. 1997.
- BARBIERI, J. C. **Desenvolvimento e meio ambiente: as estratégias de mudanças da Agenda 21**. 4a ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 1997.
- BECKER, D. F. (org.). **Desenvolvimento Sustentável: necessidade ou possibilidade?** 4ª ed. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2002.
- BENETTI, L. B. **Avaliação do Índice de Desenvolvimento Sustentável do Município de Lages (SC) através do Método do Painel de Sustentabilidade**. 2006. (Tese de Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3.ed. Ícone, 355 p. São Paulo, 1993.

- BILICH M. R. & LACERDA M. P. C. **Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal (DF), por meio de geoprocessamento.** Anais XII simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 2059-2065, 2005.
- BITTENCOURT, C. M. A. **A informação e os indicadores de sustentabilidade: um estudo de caso no observatório regional base de indicadores de sustentabilidade metropolitano de Curitiba – ORBIS-MC.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- BOSSEL, H. **Indicators for sustainable developmet: theory, method, applications – a report to the Balaton Group.** Manitoba: International Institute for Sustainable Development, 1999.
- BRASIL. **Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965** - Instituiu o Novo Código Florestal (com alterações introduzidas pela Lei 7.803, de 18 de julho de 1989 que Altera a redação da Lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis n.s 6.535, de 15 de junho de 1978 e 7.511, de 7 de julho de 1986). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1965.
- BRASIL. **Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997** – Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997.
- BRASIL. **Lei 9.985, de 18 de julho de 2000** – Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2000.
- BUARQUE, S. C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável: metodologia de planejamento.** Rio de Janeiro: Garamond, 2002.
- BURROUGH, P. A. MCDONNELL R. A. **Principles of geographic information systems.** Oxford, Oxford University Press, 1998.  
<http://scholar.google.com/scholar?hl=pt-BR&lr=&q=cache:DS-w-JfI9NYJ:lifesci.zo.ntu.edu.tw/~ecology/gis/PAPERS>. Acessado em: 15/12/2006.

- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Plano Diretor de Água, Esgotos e Controle da Poluição Hídrica do Distrito Federal – Relatório Síntese** – Brasília, 1999.
- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Programa de Conservação e Proteção de Mananciais. Documento interno - CAESB.** Brasília. 2004.
- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Sinopse da Situação Ambiental das Captações Superficiais da CAESB.** Brasília. 2005.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd>. Acessado em (10/01/2008).
- CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. **Estimativa de Áreas Impermeável de Macrobacias Urbanas.** Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, vol.12, n. 2, 1994.
- CANIL, K. **Indicadores para Monitoramento de Processos morfodinamicos: Aplicação na Bacia do Pirajuçara, região Metropolitana de São Paulo.** Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- CANTER, Larry W. **Environmental Impact Assessment.** Boston: Irwin MacGraw-Hill, 1996, 485p.
- CASTANHEIRA, A. R. & TABORDA, F. **Indicadores ambientais.** Instituto Superior Técnico. Portugal, 2006.
- CASTRO, A. G.; VALÉRIO FILHO, M. **Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 21, 1997.
- CDRH. 2005. **Caderno Distrital de Recursos Hídricos. Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal (PGIRH).** Brasília: ADASA/SEMARH
- CECCA – Centro de Estudos Cultura e Cidadania. **Qualidade de vida e cidadania: a construção de indicadores socioambientais da qualidade de vida em Florianópolis.** Florianópolis: Futura, 2001.

- CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Ed. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR, Curitiba, 2004.
- CENTER, L. W. **Environmental Indices and Indicator for Describing the Affected Environment. Environmental Impact Assessment**. Nova York: McGraw-Hill. 1996.
- CEPAL – Comisión Económica para América Latina y el Caribe. **Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas**. División de Recursos Naturales y Energía. 1994. 238 p.
- CERRI, E.E.P.; BALLESTER, M.V.R.; MARTINELLI, L.A. & VETORAZZI, C.A. **Mapas de risco à erosão do solo na bacia do Rio Piracicaba, utilizando técnicas de geoprocessamento**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 1998, Santos. Anais. Santos:Trace Disk Multimídia Ltda, 1998. 1 CD-ROM
- CHAVES, H. M. L.; ALIPAZ, S. N. **Integrated Indicator Base don Basin Hydrology, Environment, Life abd Policy: The Watershed Sustentainability Index**. Water Resour Manage, 2007, 21:883-895.
- CHRISTOFIDIS, D. **Irrigação, a fronteira hídrica e a produção de alimentos**. Irrigação e Tecnologia Moderna, n. 54, p. 46-55, 2002.
- CMMAD - **Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso Futuro Comum**. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. 430 p.
- CNUMAD - **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio, 1992. Agenda 21**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acessado em: 03/12/2006.
- CODEPLAN - Companhia de Desenvolvimento do Planalto. 1984. **Atlas do Distrito Federal**, vol II. Brasília, DF.
- CORDEIRO NETTO O. M. **Recursos hídricos: gestão de conflitos**. In: NASCIMENTO E.P. & VIANA J. N. S. (orgs.). Economia, Meio Ambiente e Comunicação. Rio de Janeiro: Garamond, 2006.

- CORREIA, T. et al. **Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda de solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, 2007.
- COSTA, H. B. ROSSI M. **Mapa de Impermeabilização do Solo da Bacia do Ribeirão das Anhumas, Campinas-SP.** Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 05 a 09 de setembro de 2005 – USP.
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas, Ed. Ver, Universidade de Campinas, 1993.
- DALY, H. E., COBB, J.B. 1989. **For the common good: redirecting the economy towards community, the environment, and a sustainable future.** Beacon Press, Boston. 482 pp.
- DISTRITO FEDERAL. **Lei Complementar nº 17, de 28 de janeiro de 1997.** Institui o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal – PDOT/DF. 1997.
- DISTRITO FEDERAL. **Lei no 2.725, de 13 de junho de 2001.** Institui a Política de Recursos Hídricos do Distrito Federal, cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Distrito Federal e da outras providências. 2001.
- DURNING, A. **Quanto é o bastante?** Revista da Politécnica, São Paulo, n. 208. 1993.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Processamento de Informações Geográficas (SPRING) versão 4.2.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>. Acessado em 05/11/2006.
- EMBRAPA. **Mapa de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal,** Brasília: EMBRAPA, 1978.
- FALKENMARK, M. 1991. **“Rapid Population Growth and Water Scarcity: The Predicament of Tomorrows Africa.”** In Resources, Environment and Population: Present Knowledge, Future Options, edited by M.S. Bernstam. Oxford, UK: Oxford University Press.
- FALKENMARK, M. **“Towards Integrated Catchment Management: Opening the Paradigm Locks between Hydrology, Ecology and Policy Making.”** Water Resources Development 20(3): 275-282, 2004.

- FAO – Food and Agriculture Organization. **Los sistemas de Información Geográfica y la Telepercepción en la pesca continental y la acuicultura**, Roma, Documento Técnico de Pesca, 1992.
- FERNANDES, D. R. **Uma contribuição sobre a construção de indicadores e sua importância para a gestão empresarial**. Revista da FAE, Curitiba, v.7, n.1, p. 1-18, jan./jun. 2004.
- FERREIRA, E. F & MORETI E. **Um indicador de degradação de bacias hidrográficas obtido a partir de modelos digitais de terreno e dados orbitais em ambiente de geoprocessamento**. Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 1998.
- FERREIRA, L. C. **A Questão Ambiental: Sustentabilidade e Políticas Públicas no Brasil**. São Paulo, Boitempo Editorial, 1998.
- FERREIRA, L. C. **Indicadores político-institucionais de sustentabilidade: criando e acomodando demandas públicas**. Revista Ambiente e Sociedade, Campinas: NEPAM/ UNICAMP, 2000.
- FERREIRA, A. & CUNHA, C. **Sustentabilidade Ambiental da Água consumida no município do Rio de Janeiro**, Brasil. Rev Panam Salud Publica. 2005.
- FGV / Fundação Getúlio Vargas, CIDS/Centro Intern. de Desenv. Sustentável e EBAP/Escola Brasileira de Administração Pública. **Indicadores de Sustentabilidade para Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. Rio de Janeiro, RJ, 2000.
- FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.
- FONSECA, F. O. NETTO, P. B. **Parcelamentos Irregulares na Bacia do Lago Paranoá**. In: FONSECA, F. O (org). Olhares Sobre o Lago Paranoá. Brasília. SEMARH, 2001.
- FREITAS, V. A. L. RIBEIRO, M. G. CENTENO, J. A. S. **Análise temporal e quantitativa da impermeabilização dos solos através de imagens LANDSAT e CBERS na cidade de Curitiba/PR**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, Florianópolis, 2006.

- GAMA, I. **Perfil Ambiental dos Recursos Hídricos no Centro-Oeste Expandido**. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Ouro Preto-MG, 2002.
- GARCIA, G.J. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Interpretação de Imagens**. Nobel, São Paulo, 1982.
- GENZ, F; TUCCI, C. E. M. **Infiltração em Superfícies Urbanas**. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, vol. 13, n. 1, jun. 1995.
- GONÇALVES, T. D. **Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.
- GDF – Governo do Distrito Federal. **Estrutura da Renda Familiar no Distrito Federal**. CODEPLAN, 1985.
- GDF – Governo do Distrito Federal. **Temas CODEPLAN nº 1 – Perfil Sócio-Econômico das Famílias do Distrito Federal**. CODEPLAN, 1997.
- GDF – Governo do Distrito Federal. **Pesquisa Distrital por Amostras de Domicílios – PDAD**. SEPLAN/CODEPLAN, 2004.
- HARDI, P.; SEMPLE, P. **The dashboard of sustainability: from a metaphor to an operational set of indices**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCE METHODOLOGY. 2000, Cologne, Germany. Disponível em: [http://www.gesis.org/dauerbeobachtung/sozialindikatoren/veranstaltungen/PDFs/RC33\\_Hardi21.pdf](http://www.gesis.org/dauerbeobachtung/sozialindikatoren/veranstaltungen/PDFs/RC33_Hardi21.pdf). Acesso em: 13/12/2006.
- IBAMA – Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Roteiro Técnico para Elaboração do Plano de Manejo em Áreas Protegidas de Uso Indireto**. IBAMA/GTZ. Brasília, 1992.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. DEPI/DIEAD – **Dados Preliminares do Censo 2000** – Distrito Federal.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. **“Indicadores de Desenvolvimento Sustentável”**. In: Estudos e Pesquisas. Informação Geográfica, número 2, IBGE 2002. Rio de Janeiro, 2002.

- INSTITUTO ETHOS de Empresas e Responsabilidade Social. **Responsabilidade Social as Empresas – Percepção do Consumidor Brasileiro – Pesquisa 2002.** Disponível em: <<http://www.ethos.org.br>>. Acesso em: 11 abr. 2006.
- IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas, FJP – Fundação João Pinheiro, PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil.** CD-ROM. 1998.
- KAUFFMANN, M. O. **Expansão Urbana e Qualidade de Vida: Proposta para Desenvolvimento de Indicadores de Sustentabilidade Aplicados à Legislação Urbanística.** Rio de Janeiro, Mestrado em Engenharia Ambiental da UERJ, 2003.
- KAUFFMANN, M. O., ROSA, E. U. e PIMENTEL DA SILVA, L. **Parametrização da Sustentabilidade em Bacia Urbanas: A Contribuição da Taxa de Impermeabilização.** In: Energy, Environment and Technological Innovation. New Technical and Cultural Challenges for Environmental Sustainability. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- LEITÃO, J. de A. F. **Educação ambiental para a sustentabilidade dos recursos hídricos: A integração das políticas públicas de recursos hídricos e educação ambiental.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP).** *Bragantia*, v.51, n.2, p.189-196, 1992.
- LINHARES E. K. **Delimitação de Áreas para a Gestão Ambiental: Uma Contribuição ao Estudo de Bacias Hidrográficas Urbanas.** ANAIS do XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu (MG), 2004.
- LOHMAN, R. J. **Recomposição da Mata Ciliar no Manancial do Córrego Sanga Vera no Município de Nova Santa Rosa. Marechal Cândido Rondon, 2003.** Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. 46p.

- LONGHI, A. L. B. & MENESES, P. R. **O uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para o zoneamento de Florestas Nacionais.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 2005, INPE.
- LUNDIN M. & MORRISON G. M. **A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems.** Urban Water. 2002.
- MAGALHÃES JUNIOR, A. P., CORDEIRO NETTO O. M., NASCIMENTO N. O. **Os indicadores como instrumentos potenciais de gestão das águas no atual contexto Legal-Institucional do Brasil – resultados de um painel de especialistas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH). Vol. 08 n. 04, out/dez, 49-67p. 2003
- MAGALHÃES JUNIOR, A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.** Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil, 2007.
- MARCOMIN, F. E. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Pinheiros (municípios de Orleans e São Ludgero, SC), com base na caracterização e diagnóstico dos elementos da paisagem, e da perda de solo por erosão laminar.** Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- MARCONDES, D. A. S. **Mata Ciliar e a Qualidade da Água.** São Paulo: Companhia Energética de São Paulo, 2001. CD-ROM.
- MALCZEWSKI, J. **GIS - based land-use suitability analysis: a survey of literature.** International Journal of Geographical Information Science. Vol. 20 number 7: p. 703-726, 2006.
- MEADOWS, D. **Indicators and informations systems for sustainable development.** The Sustainability institute, 1998. Disponível em: <http://www.nssd.net/pdf/Donella.pdf>. Acessado em maio de 2007.

- MEIRELLES M. S. P., BUENO M. C. D., DIAS T. C. S., COUTINHO H. L. C.  
**Sistema de suporte a decisão para avaliação do risco de impactos ambientais em bacias hidrográficas por redes de dependência e lógica fuzzy.**  
Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2259-2266.
- MELO, M. M. O **(des)envolvimento do “desenvolvimento”capitalista: pode haver desenvolvimento sustentável em um modo social de produção capitalista?.**  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- MIRANDA, A. B. e TEIXEIRA, B. R. do N. **Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário.** Nota técnica Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, 269-279.
- MORAES, J. F. L. et al. **Land Planning For Sustainable Development In: Watersheds using Geographical Information System. International Archives Of Photogrametry And Remote Sensing.** Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 895-900, 2000.
- MOREIRA, M.A.; SHIMABUKURO, Y.E. **Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR** In: Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N. São Paulo, Oficina de Textos, cap.4: 79-101, 2004.
- MONTIBELLER-FILHO, G. **O mito do desenvolvimento sustentável: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias.** Florianópolis: UFSC, 2001.
- NOVO, E. M. L. M. 1992. **Sensoriamento remoto. Princípios e aplicações.** Ed. Edgard Blücher Ltda. 2a Ed. São Paulo, Brasil. 1992.
- OLIVEIRA, C. L. **Aplicação do ISA, Indicador de Salubridade Ambiental, ao município de Toledo.** Florianópolis, 2003. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), UFSC, 2003.
- OLIVEIRA, A. M. M.; PINTO, S. A. F.; LOMBARDI NETO, F. **Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo.** Estudos Geográficos, Rio Claro, 5(1): 63-86, 2007.

- ONU Organização das Nações Unidas. **Trends, Global Change and Sustainable Development**. New York, 1997.
- ONU Organização das Nações Unidas. **2003 International Year of Freshwater**. Disponível em: <http://www.un.org/events/water/index.htm>>. Acessado em maio. 2007.
- ONU Organização das Nações Unidas. **“Water: a shared responsibility” - The United Nations World Water Development Report 2**. 2006.
- PEDRO F. G. & LORANDI R. **Potencial Natural de Erosão na Área Periurbana de São Carlos-SP**. Revista Brasileira de Cartografia no 56/01, 2004.
- PNRH – **Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. CD-ROM.
- RAMOS, P. R. **Modelo para outorga de uso da água utilizando a metodologia multicritério de apoio à decisão: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do rio Cubatão do Sul**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- RIBEIRO, L. S. & ALVES, M. G. **Quantificação de Perda de Solo por Erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de Técnicas de Geoprocessamento**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, 2007.
- RIBEIRO, A. L. **Sistemas, indicadores e desenvolvimento sustentável**. 2002. Disp. em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sti/publicacoes>. Acessado em dezembro de 2006.
- RHODES, A.L., NEWTON, T.M., AND PUFALL, A. **Influences of land use on water quality of a diverse New England watershed**. Environ. Sci. Technol. 35p. 2001.
- SACHS, I. **Estratégias de Transição para o Século XXI. Desenvolvimento e Meio Ambiente**. São Paulo: Studio Nobel/FUNDAP, 1993.
- SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2000.

- SAMPAIO, C. A. C. **Planejamento para o desenvolvimento sustentável: um estudo de caso e comparativo de municípios**. Florianópolis: Bernúncia, 2002.
- SANTOS, V. S.; OLIVEIRA, O. J.; MOREIRA, M. A. A.; LORANDI, R. **Análise e espacialização das perdas médias de solo por erosão hídrica laminar na bacia hidrográfica do Tenente Amaral em Jaciara, Mato Grosso, Brasil**. Anais do 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006.
- SATO, A. C. **Índices de sustentabilidade**. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/temas530/anacarla.htm>>. Acesso em: 11 nov. 2005.
- SETTI, A. A. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Freitas M.A.V. (org.) LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A.G.M.; PEREIRA, I. C. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas. 328p. 2001.
- SEIXAS, F. & MAGRO, T. C **Indicadores ambientais e paisagísticos relacionados às operações florestais**. Série Técnica IPEF. Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP, v. 12, 1998.
- SLEAVIN, W.J., CIVCO, D.L., PRISOLE, S. e GIANNOTTI, L. **Measuring Impervious Surfaces for Non-Point Source Pollution Modeling**. In: Proceedings of the ASPRS Annual Conf. Washington D.C, 2000.
- SILVA, S. Indicadores de sustentabilidade urbana: **As perspectivas e as limitações da operacionalização de um referencial sustentável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2000.
- SILVA, M. L. G. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- SILVA, A. M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. Rima. São Carlos, 2003.

- SILVA, T.; ZUNGAILIA, E.; DIONÍSIO, S.; ALMEIDA, J. **Estimativa de área impermeabilizada através de imagens Landsat TM. 2004.** Disponível em: [http://www.igeo.pt/IGEO/portugues/servicos/Cdi/biblioteca/PublicacoesIGP\\_files](http://www.igeo.pt/IGEO/portugues/servicos/Cdi/biblioteca/PublicacoesIGP_files). Acessado em junho de 2007.
- SILVA, C.L.; e MENDES, J.T.G. (orgs.) **Reflexões sobre o desenvolvimento sustentável: agentes e interações sob a ótica multidisciplinar.** Editora Vozes. Petrópolis, 2005.
- SIRIGATE, P.; STADLER, C. C.; OROSKI, F. I.; KOVALESKI, J. L. **Gestão da qualidade ambiental da água de mananciais de abastecimento público como estratégia de redução de custos.** XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.
- SCHMIDT, W.; CAZELLA, A. A.; TURNES, V. A. **Indicadores de sucesso de processos de desenvolvimento local. Trabalho apresentado em “Oficinas sobre indicadores de sucesso em programas de desenvolvimento local”.** Brasília/DF: PNUD, 1998. mimeo.
- SMITH, A. J. **Subpixel Estimates of Impervious Surface Cover Using Landsat TM Imagery.** M.A. Scholarly Paper, Geography Department, University of Maryland, College Park. December 1, 2000.
- SKORUPA, L. A. **Áreas de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável.** EMBRAPA Meio Ambiente. Jaguariúna, dezembro 2003.
- TOMAZONI, J. C. GUIMARÃES, E. **A Sistematização dos Fatores da EUPS em SIG para Quantificação da Erosão Laminar da Bacia do Rio Jirau.** Revista Brasileira de Cartografia, nº 57/03, 2005.
- TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. **Utilização de medidas de turbidez na qualificação da movimentação de sólidos de veiculação hídrica nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – Sudoeste do estado do Paraná.** Boletim Paranaense de Geociências. Editora UFPR. 2005a.

- TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. **A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR)**. Estudos Geográficos, Rio Claro, 2005b.
- TAGLANI, C. R. A. **Técnicas para avaliação da vulnerabilidade de ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE - SELPER, p. 1657-1664, 2003.
- TEIXEIRA, J. C. & GUILHERMINO, R. L. **Análise da Associação entre Saneamento e Saúde nos Estados Brasileiros, Empregando Dados Secundários do Banco de Dados Indicadores e Dados Básicos para a Saúde 2003**. Engenharia Sanitária Ambiental. Vol.11, nº 3, 2006. Disponível em: [http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v11n03/v11n03a08\\_059\\_05.pdf](http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v11n03/v11n03a08_059_05.pdf). Acessado em agosto de 2007.
- TOLEDO L. G. & NICOLELLA G. **Índice de qualidade da água em microbacia sob uso agrícola e urbano**. Scientia Agricola, v.59, n.1, p.181-186, jan./mar. 2002.
- TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, fevereiro 2005.
- TORRES, E. P. **Análise da Expansão Urbana na Bacia do Lago Descoberto através de Geoprocessamento**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.
- TUCCI, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 2, n. 2, jul./dez. 1997.
- 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**. Global Water Partnership: 2000. Acessível em: [http://www.unb.br/ft/enc/recursos\\_hidricos/relatorio.pdf](http://www.unb.br/ft/enc/recursos_hidricos/relatorio.pdf). Acessado em maio de 2006.

- TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão Mundial da Água”**. Bahia Análise & Dados Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 357-370, 2003.
- TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento dos recursos hídricos no Brasil**. Global Water Partnership-South America. Asociación Mundial del Agua, SAMTAC-Comité Técnico Asesor Sud América. 2004. 28 p.
- TURNES, V. A. **Sistema Delos: indicadores para processos de desenvolvimento local sustentável**. Florianópolis, 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 237p. (disponível no site <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/7851.pdf>).
- TAVARES, A. C. F. et al. **Expectation of water-course degradation using geographical information system in a watershed**. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v. 25, p. 417- 424, 2003.
- UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. **Methodological Guidelines for the Integrated Environmental Evaluation of Water Resources Development**. Paris: International Hydrological Programme, 1987.
- UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. **Hydrology for the Environment, Life and Policy – HELP**. International Hydrological Programme. Acessível em: <http://www.unesco.org/water/ihp/help>. Acessado em agosto 2007.
- VALÉRIO FILHO, M. **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas**. Org. por Pereira, M.E. e Ferreira, M.C.P. ed. UNESP, Jaboticabal – SP, p. 151-164, 1994.
- VALERIO-FILHO, M. ALVES, M. GARCIA, R. FANTIN, M. **Caracterização de Bacias Hidrográficas Impermeabilizadas Pelo Processo de Urbanização com o Suporte de Geotecnologias**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte. INPE, p. 1977 – 1983, 2003.

- VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa.** Florianópolis, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina.
- VAN BELLEN, H. M. Desenvolvimento Sustentável: **Uma Descrição das Principais Ferramentas de Avaliação.** Ambiente e Sociedade, vol. VII n°. 1 jan./jun. 2003.
- VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa.** Editora FGV. Rio de Janeiro, 2005.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning.** Washington: Agriculture Handbook, U.S. Department of Agriculture. 1978.
- WORLDWIDE FUND FOR NATURE (WWF). **Living Planet Report.** 2006 (disponível no site <http://www.wwf.org>). Acessado em nov/07).

## ANEXO

Tabela 42 Resultado dos indicadores que compõem a dimensão ambiental e da própria dimensão ambiental das microbacia estudadas, por região.

Região	Microbacia	Ano	Cobertura Vegetal	Risco de Erosão	Densidade de estradas	Área Imperm.	Ambiental
Paranoá	Taquari	1984	0.60	0.40	0.20	0.80	<b>0.50</b>
		1995	0.40	0.40	0.20	0.80	<b>0.45</b>
		2006	0.60	0.80	0.20	0.80	<b>0.60</b>
	Cachoeirinha	1984	0.80	0.20	0.20	1.00	<b>0.60</b>
		1995	0.20	0.20	0.20	0.60	<b>0.30</b>
		2006	0.00	0.20	0.20	0.20	<b>0.15</b>
Brazlândia	Barrocão	1984	0.80	0.20	0.00	1.00	<b>0.55</b>
		1995	0.60	0.20	0.00	0.80	<b>0.40</b>
		2006	0.20	0.20	0.00	0.60	<b>0.25</b>
	Capão da Onça	1984	0.60	1.00	0.60	0.80	<b>0.75</b>
		1995	0.60	0.80	0.60	0.80	<b>0.70</b>
		2006	0.80	0.80	0.60	0.60	<b>0.70</b>
Planaltina	Fumal	1984	0.80	0.40	0.80	0.80	<b>0.70</b>
		1995	0.80	0.40	0.80	0.80	<b>0.70</b>
		2006	0.80	0.40	0.80	0.80	<b>0.70</b>
	Brejinho	1984	0.60	0.80	0.80	0.60	<b>0.70</b>
		1995	0.60	0.80	0.80	0.20	<b>0.60</b>
		2006	0.60	0.80	0.80	0.20	<b>0.60</b>
	Mestre D'Armas	1984	0.60	0.60	0.40	0.60	<b>0.50</b>
		1995	0.40	0.40	0.40	0.40	<b>0.45</b>
		2006	0.20	0.20	0.40	0.20	<b>0.25</b>
	Corguinho	1984	0.80	0.80	0.60	1.00	<b>0.80</b>
		1995	0.80	0.80	0.60	0.80	<b>0.75</b>
		2006	0.60	0.80	0.60	0.60	<b>0.65</b>
Quinze	1984	1.00	0.80	0.40	1.00	<b>0.80</b>	
	1995	0.40	0.60	0.40	0.60	<b>0.50</b>	
	2006	0.40	0.60	0.40	0.40	<b>0.45</b>	
Taguatinga	Currais	1984	0.20	0.80	0.00	0.00	<b>0.25</b>
		1995	0.00	0.40	0.00	0.00	<b>0.10</b>
		2006	0.00	0.20	0.00	0.00	<b>0.05</b>
	Pedras	1984	0.80	1.00	0.60	1.00	<b>0.85</b>
		1995	0.80	1.00	0.60	1.00	<b>0.85</b>
		2006	0.80	1.00	0.60	1.00	<b>0.85</b>

Tabela 43 Resultado dos indicadores que compõem a dimensão de qualidade da água e a própria dimensão de qualidade da água das microbacia estudadas, por região.

<b>Região</b>	<b>Microbacia</b>	<b>Ano</b>	<b>IQA</b>	<b>Turbidez</b>	<b>De Qualidade da Água</b>
Paranoá	Taquari	1984	0.80	0.90	<b>0.85</b>
		1995	0.80	0.90	<b>0.85</b>
		2006	0.80	0.90	<b>0.85</b>
	Cachoeirinha	1984	0.60	0.80	<b>0.70</b>
		1995	0.60	0.80	<b>0.70</b>
		2006	0.40	0.00	<b>0.20</b>
Brazlândia	Barrocão	1984	0.60	0.50	<b>0.55</b>
		1995	0.40	0.20	<b>0.30</b>
		2006	0.40	0.00	<b>0.20</b>
	Capão da Onça	1984	0.60	0.90	<b>0.75</b>
		1995	0.80	0.90	<b>0.85</b>
		2006	0.60	0.80	<b>0.70</b>
Planaltina	Fumal	1984			<b>0.00</b>
		1995	0.60	0.70	<b>0.65</b>
		2006	0.60	0.60	<b>0.60</b>
	Brejinho	1984	0.80	0.70	<b>0.75</b>
		1995	0.80	0.90	<b>0.85</b>
		2006	0.60	0.80	<b>0.70</b>
	Mestre D'Armas	1984	0.40	0.30	<b>0.35</b>
		1995	0.40	0.20	<b>0.35</b>
		2006	0.40	0.30	<b>0.35</b>
	Corguinho	1984	0.80	0.90	<b>0.85</b>
		1995	0.80	1.00	<b>0.90</b>
		2006	0.80	0.90	<b>0.85</b>
	Quinze	1984	0.60	0.60	<b>0.60</b>
		1995	0.60	0.60	<b>0.60</b>
		2006	0.40	0.00	<b>0.20</b>
Taguatinga	Currais	1984	0.20	0.30	<b>0.25</b>
		1995	0.00	0.00	<b>0.00</b>
		2006	0.00	0.00	<b>0.00</b>
	Pedras	1984	0.60	0.80	<b>0.70</b>
		1995	0.60	0.90	<b>0.75</b>
		2006	0.60	0.80	<b>0.70</b>

Tabela 44 Resultado dos indicadores que compõem a dimensão de socioeconômica e a própria dimensão socioeconômica das microbacia estudadas, por região.

<b>Região</b>	<b>Microbacia</b>	<b>Ano</b>	<b>Renda</b>	<b>Educação</b>	<b>Saúde Pública</b>	<b>Socioeconômico</b>
Paranoá	Taquari	1984	0.20	0.60	1.00	<b>0.60</b>
		1995	1.00	0.70	0.70	<b>0.80</b>
		2006	1.00	0.70	0.40	<b>0.70</b>
	Cachoeirinha	1984	0.20	0.60	1.00	<b>0.60</b>
		1995	0.40	0.50	0.90	<b>0.60</b>
		2006	0.00	0.60	0.30	<b>0.30</b>
Brazlândia	Barrocão	1984	0.00	0.00	0.30	<b>0.10</b>
		1995	0.20	0.30	0.70	<b>0.40</b>
		2006	0.20	0.60	0.90	<b>0.57</b>
	Capão da Onça	1984	0.00	0.00	0.30	<b>0.10</b>
		1995	0.20	0.30	0.70	<b>0.40</b>
		2006	0.20	0.60	0.90	<b>0.57</b>
Planaltina	Fumal	1984	0.00	0.10	0.20	<b>0.10</b>
		1995	0.40	0.40	0.40	<b>0.40</b>
		2006	0.20	0.60	0.40	<b>0.40</b>
	Brejinho	1984	0.00	0.10	0.20	<b>0.10</b>
		1995	0.40	0.40	0.40	<b>0.40</b>
		2006	0.20	0.60	0.40	<b>0.40</b>
	Mestre D'Armas	1984	0.00	0.20	0.30	<b>0.17</b>
		1995	0.40	0.40	0.40	<b>0.40</b>
		2006	0.20	0.60	0.10	<b>0.30</b>
	Corguinho	1984	0.00	0.20	0.30	<b>0.17</b>
		1995	0.40	0.40	0.40	<b>0.40</b>
		2006	0.20	0.60	0.40	<b>0.40</b>
Quinze	1984	0.00	0.10	0.20	<b>0.10</b>	
	1995	0.40	0.40	0.40	<b>0.40</b>	
	2006	0.20	0.60	0.20	<b>0.33</b>	
Taguatinga	Currais	1984	0.20	0.50	0.40	<b>0.37</b>
		1995	1.00	0.70	0.70	<b>0.80</b>
		2006	0.60	0.80	0.60	<b>0.67</b>
	Pedras	1984	0.20	0.50	0.40	<b>0.37</b>
		1995	0.80	0.50	0.70	<b>0.67</b>
		2006	0.60	0.80	0.60	<b>0.67</b>

Tabela 45 Resultado dos indicadores que compõem a dimensão político institucional e a própria dimensão político institucional das microbacia estudadas, por região.

<b>Região</b>	<b>Microbacia</b>	<b>Ano</b>	<b>Taxa Urbanização do entorno</b>	<b>Interferência em APP</b>	<b>Cobertura por UC</b>	<b>Político Institucional.</b>
Paranoá	Taquari	1984	1.00	0.80	0.00	0.60
		1995	1.00	0.80	0.80	0.87
		2006	0.80	1.00	0.80	0.87
	Cachoeirinha	1984	0.80	0.40	0.80	0.67
		1995	0.00	0.40	0.80	0.40
		2006	0.00	0.60	0.80	0.47
Brazlândia	Barrocão	1984	0.60	0.80	0.80	0.73
		1995	0.60	0.60	0.80	0.67
		2006	0.40	0.40	0.80	0.53
	Capão da Onça	1984	0.60	1.00	0.80	0.80
		1995	0.60	1.00	0.80	0.80
		2006	0.60	1.00	0.80	0.80
Planaltina	Fumal	1984	1.00	0.80	1.00	0.93
		1995	0.80	1.00	1.00	0.93
		2006	0.80	1.00	1.00	0.93
	Brejinho	1984	1.00	0.80	0.80	0.87
		1995	0.80	1.00	0.80	0.87
		2006	0.80	1.00	1.00	0.93
	Mestre D'Armas	1984	0.80	0.40	0.80	0.67
		1995	0.80	0.40	0.80	0.67
		2006	0.40	0.40	0.80	0.53
	Corguinho	1984	0.60	1.00	0.40	0.67
		1995	0.40	1.00	0.40	0.60
		2006	0.20	1.00	0.80	0.67
Quinze	1984	1.00	1.00	0.80	0.93	
	1995	1.00	0.80	0.80	0.87	
	2006	0.80	0.80	0.80	0.80	
Taguatinga	Currais	1984	0.00	0.80	0.40	0.40
		1995	0.00	0.60	0.40	0.33
		2006	0.00	0.40	0.80	0.40
	Pedras	1984	0.60	1.00	0.80	0.80
		1995	0.60	1.00	0.80	0.80
		2006	0.60	1.00	0.80	0.80