

# Cenários ambientais na bacia do rio Atibaia

## Environmental scenarios in the Atibaia river basin

### Antonio Carlos Demanboro

Engenheiro civil e Professor Doutor da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) – Campinas (SP), Brasil.

### Guilherme Lucas Laurentis

Engenheiro ambiental pela PUC-Campinas – Campinas (SP), Brasil. Mestre pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) – São Carlos (SP), Brasil.

### Sueli do Carmo Bettine

Engenheira civil pela PUC-Campinas – Campinas (SP), Brasil. Professora Doutora da PUC-Campinas – Campinas (SP), Brasil.

## Resumo

No presente artigo realizou-se uma análise integrada da bacia hidrográfica do rio Atibaia. Foi feito diagnóstico ambiental da área de estudo. Aplicou-se a metodologia desenvolvida pela *Organisation for Economic Co-Operation and Development*, em 2003, associada àquela aprimorada por Tricart e adaptada por Ross (1994). Foram selecionados 33 indicadores ambientais que permitiram as representações física e espacial da bacia e subsidiaram a elaboração de cenários. Foram elaborados três deles para a bacia hidrográfica do rio Atibaia, denominados tendencial, manejo e conservação. Avaliaram-se as potencialidades e fragilidades da bacia, o que gerou resultados que permitiram nortear a gestão adequada dos recursos hídricos e a conservação ambiental. Conclui-se que, no cenário conservação, foram observadas as melhores condições para ocorrer a restauração da qualidade ambiental da bacia.

**Palavras-chave:** planejamento ambiental; recursos hídricos; bacia hidrográfica.

## Abstract

This paper presents an integrated analysis of the Atibaia river basin. An environmental diagnosis was performed in the study area. It was applied the methodology developed by the *Organisation for Economic Co-Operation and Development*, in 2003, coupled to that done by Tricart and adapted by Ross (1994). We selected 33 environmental indicators which allowed physical and spatial representations of the basin and supported the development of scenarios. Three of them were developed for the Atibaia river basin, called trend, management, and conservation. We evaluated the strengths and weaknesses of the basin, which generated results that allowed to manage water resources and environmental conservation. The main conclusion is that, in the conservation scenario, best conditions to restore the environmental quality of the basin were observed.

**Keywords:** environmental planning; water resources; water basin.

## Introdução

Na bacia hidrográfica do rio Atibaia é perceptível o contraste entre ambientes naturais relativamente preservados e áreas extremamente urbanizadas. A bacia está diretamente relacionada a dois importantes centros urbanos e econômicos do Brasil, as regiões metropolitanas de Campinas (RMC) e de São Paulo (RMSP). Possui 2.816,40 km<sup>2</sup>, na qual estão inseridos, total ou parcialmente, municípios dos estados de São Paulo e Minas Gerais. Estima-se que a população residente em tal local totaliza 1.110.744 habitantes, com uma densidade populacional de 394,38 habitantes.km<sup>-2</sup>.

A bacia está numa região de destaque, pois abriga parte da RMC, área com vasto e diversificado parque industrial, além de polo tecnológico importante no cenário nacional. Segundo Duarte Neto (2005), dos

19 municípios que compõem a RMC, 7 usam direta ou indiretamente as águas da bacia do rio Atibaia, seja para fins de captação ou para lançamento de esgoto doméstico, sendo eles: Americana, Campinas, Itatiba, Paulínia, Sumaré, Valinhos e Vinhedo. Além disso, a RMSP, apesar de não estar geograficamente inserida na bacia, utiliza os seus recursos hídricos e tem um importante manancial de abastecimento público, situação que agrava sobremaneira a disponibilidade hídrica e os problemas ambientais da bacia.

O consumo de água na região é predominantemente urbano (5,02 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>), seguido do uso industrial (3,26 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) e do rural (1,62 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>). A demanda total estimada é de 10,02 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> de água Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos (IRRIGART, 2007). Além dessas utilidades, existem na bacia dois reservatórios do

Sistema Cantareira, responsáveis por enviar  $9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  de água para a RMSP, sendo  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  oriundos do Reservatório Atibainha e  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  do Reservatório Cachoeira (WHATELY, 2007).

Com relação aos esgotos, o índice de coleta do esgoto doméstico é de 70%, sendo que apenas 52% recebem tratamento Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2007).

Assim, este trabalho teve como objetivo aplicar uma metodologia de avaliação dos impactos ambientais na bacia, que considere a complexidade dos problemas ambientais nela presentes. Dentre aquelas existentes, optou-se pelo modelo pressão-estado-resposta da Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD, 2003), para o qual foram selecionados indicadores ambientais e diagnosticou-se a situação atual da bacia do rio Atibaia. Em seguida, utilizou-se a abordagem ecodinâmica, proposta por Tricart (1977) e adaptada por Ross (1994, 2007), a fim de elaborar três cenários e avaliar a situação futura dos

recursos naturais e da ocupação antrópica, projetados para 2020, sendo os mesmos denominados de 'tendencial', 'manejo' e 'conservação'.

## Metodologia

### Seleção dos indicadores ambientais

Realizou-se a seleção dos indicadores ambientais que foram utilizados no modelo pressão-estado-resposta, com base nos critérios da (OECD, 1993, 2003), tendo sido consideradas a relevância política, a utilidade aos usuários, a confiabilidade e a mensurabilidade de cada. Foram selecionados alguns para os três grupos: pressão (ligados a interferências humanas), estado (condição do meio e dos recursos naturais) e resposta (ações da sociedade resultantes de políticas ambientais), conforme mostrado no Quadro 1.

**Quadro 1** – Indicadores ambientais selecionados.

Tipo de indicador	Tema	Indicador	Definição	Fonte dos dados
Pressão	Uso das terras	Urbanização na bacia; intervenção antrópica na bacia	Área total da bacia sob o uso urbano; com atividades antrópicas, sendo excluídas as florestas e os lagos ou represas	Mapa de uso das terras
		Densidade populacional	Número de habitantes por quilômetro quadrado	Caracterização da área
	Áreas protegidas	Intervenção antrópica em APP de nascentes	Total de áreas de APP de nascentes com intervenção	Mapa de uso das terras e de APP
	Recursos hídricos	Usos urbano, industrial e rural, em relação ao total	Relação entre os usos urbano e total de água	Caracterização da área
Estado	Cobertura vegetal	Vegetação nativa remanescente	Área da bacia sob cobertura de floresta nativa	Mapa de uso das terras
		Cobertura vegetal em APP de nascentes e vegetação fora de APP	Área de APP de nascentes coberta por vegetação nativa e daquela fora de APP	Mapa de uso das terras e de nascentes
		Vegetação fora de APP	Área coberta por vegetação nativa fora de APP	Mapa de uso das terras e de APP
Recursos hídricos	Cobertura vegetal/compartimento	Cobertura vegetal/compartimento	Área coberta por vegetação nativa em cada compartimento ambiental	Mapa de uso das terras e de compartimentos
		Coleta e tratamento de esgoto doméstico	Porcentagem de esgoto doméstico coletado na bacia	Caracterização da área
	Nascentes/compartimento	Quantidade de nascentes por compartimento ambiental	Mapa de nascentes e de compartimentos	
Fragilidade		Fragilidade potencial forte e muito forte total e/ou em APP	Áreas com fragilidade potencial forte e muito forte	Carta de fragilidade potencial e mapa de APP
Resposta	Áreas protegidas	Vegetação nativa protegida	Área total de vegetação nativa protegida	Mapa de uso das terras, de UCs e de APP
		Proteção do território	Área do território sob algum tipo de proteção	Mapa de UCs e de APP
		Vegetação nativa em UC e por tipo de proteção	Área de vegetação nativa protegida em UC	Mapa de uso das terras e de UCs
	Total de APP na bacia	Área de APP na bacia	Mapa de APP	
	Área de APP a recuperar; cobertura vegetal em APP	Área de APP na bacia que necessita ser recuperada; e na bacia coberta por vegetação nativa	Mapa de uso das terras e de APP	
	Ações municipais	Nascentes dentro de UC	Nascentes dentro de UC	Número de nascentes dentro de UC
Existência de um conselho de meio ambiente e de plano diretor			Municípios com conselho de meio ambiente e plano diretor	Caracterização da área
Existência de UC no município		Municípios com UC em seus limites	Mapa de municípios e de UCs	

UC: unidades de conservação; APP: áreas de preservação permanente.  
Fonte: Laurentis (2008).

## Aquisição dos dados

Neste trabalho, foram utilizados dados primários, produzidos por meio de metodologias e abordagens específicas, e secundários, pela consulta a levantamentos existentes em trabalhos realizados. Os dados foram espacializados por meio da geração de mapas e incorporados a um banco de dados geográfico, a fim de seu posterior manuseio em ambiente de sistema de informação geográfica (SIG).

Para solos, fez-se uso do levantamento e da classificação dos tipos de solos do estado de São Paulo, na escala original de 1:500.000, realizados por Oliveira *et al.* (1999). Os dados possibilitaram a identificação de cada tipo de solo dentro da bacia, delimitados segundo unidades pedológicas. Para o trecho de Minas Gerais, foram aplicados dados da IRRIGART (2004).

Para o relevo foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE), que permite obter dados de hipsometria (altitude) e declividade; baseando-se no mapeamento topográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1983), com curvas de nível na escala 1:50.000, vetorizadas, disponíveis no site do Projeto PiraCena (Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo – CENA/USP). Utilizou-se o *software* ILWIS 3.4 para a interpolação dos valores altimétricos das curvas de nível e dos pontos cotados (cumes).

A hidrografia foi conseguida pelos dados do IBGE (1983), na escala 1:50.000, seguindo a vetorização do projeto PiraCena (CENA/USP). Foram utilizadas as mesmas cartas de relevo, importadas uma a uma no *software* ILWIS 3.4 e posteriormente agrupadas em apenas um arquivo. Os pontos correspondentes às nascentes foram criados mesmo programa. Os pontos relativos à captação de água para abastecimento (superficial e subterrânea) e aqueles de lançamento de esgoto doméstico foram tomados de Irrigart (2004).

Para a classificação do uso das terras na bacia foram utilizadas imagens do satélite Landsat-7 sensor ETM\*, de 17 de julho de 2008, órbita 219, ponto 76, com resolução espacial de 30 m. As bandas 3, 4 e 5 do satélite, com a composição colorida falsa-cor R4 G5 B3, foram aplicadas (Figura 1). Em tal *software*, realizou-se o georreferenciamento da imagem pela coleta de pontos de controle, com base na hidrografia do IBGE.

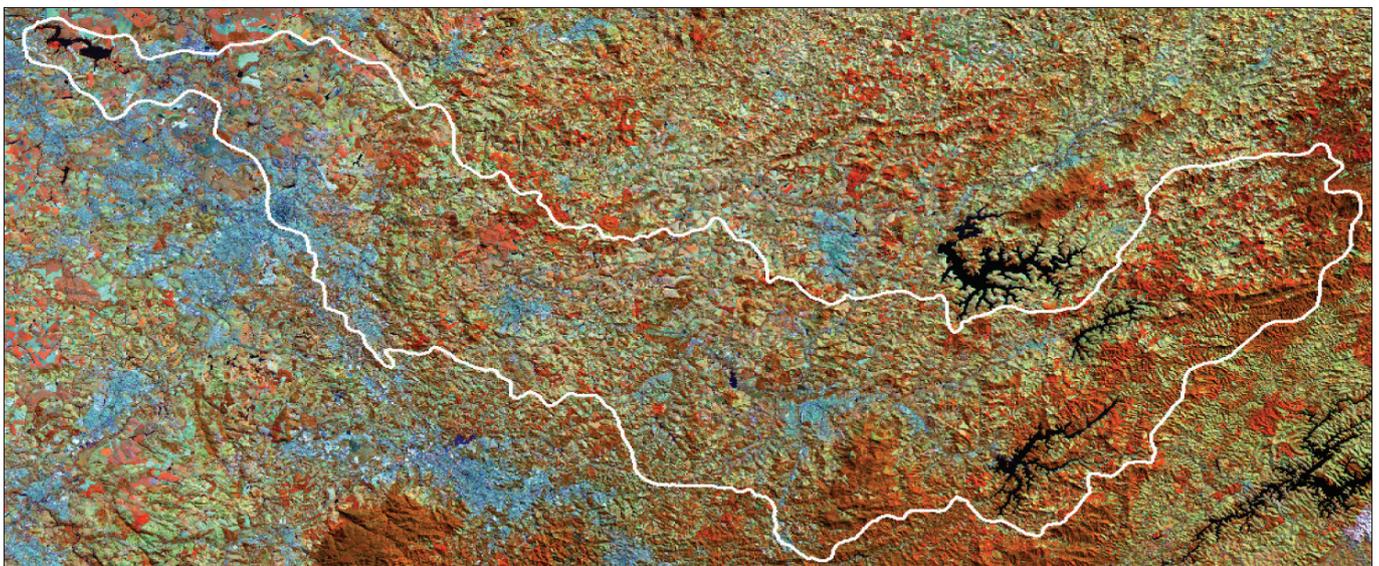
Com relação às áreas protegidas, foram consideradas as Unidades de Conservação (UCs) e as Áreas de Preservação Permanente (APPs) fluviais da bacia, devido a sua representatividade, por sua utilidade imediata em ações de planejamento e pela possibilidade de interligação entre as mesmas, permitindo a formação de corredores ecológicos que pudessem contribuir para a preservação dos recursos hídricos (SIMI; SIMI JUNIOR; SIMI NETO, 2007).

Para o mapeamento das áreas de UCs, foram utilizados os trabalhos realizados por Conforti, Laurentis e Adami (2008) e Conforti *et al.* (2008), bem como a lei 9.985 (BRASIL, 2000), que contemplam as áreas protegidas existentes em todo o território, correspondentes às bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, nas esferas federal, estadual e municipal.

No entanto, as APPs estão definidas na lei 4.771/1.965 (BRASIL, 1965). Foram consideradas, neste trabalho, apenas as fluviais, delimitadas segundo critérios de tal lei, variando de acordo com o tipo de corpo hídrico. Uma vez identificados os tipos de APPs, as áreas foram delimitadas por meio de 'buffers' de distância relativos aos dados de hidrografia do IBGE (rios, nascentes e lagos) no *software* ArcMap 9.2.

## Compartimentos ambientais

De modo a facilitar a compreensão dos problemas relacionados aos recursos hídricos, a bacia foi subdividida em compartimentos ambientais, que são trechos com considerável homogeneidade em termos de padrões de uso das terras e de qualidade da água, e que



**Figura 1** – Composição colorida falsa-cor da imagem Landsat-7.

são importantes tanto na análise quanto no suporte à definição das políticas de intervenção (BEVILACQUA; MENEGON JR; BRESSAN JR, 1999). Definidos os compartimentos, os mesmos foram digitalizados e, após o georreferenciamento, foi feita a vetorização no *Integrated Land and Water Information Service – ILWIS 3.4*, resultando no mapa apresentado na Figura 2.

## Diagnóstico ambiental

Para o diagnóstico ambiental, utilizou-se a metodologia do mapeamento ecodinâmico, elaborada por Tricart (1977) e modificada por Ross (1994).

Os ambientes foram caracterizados quanto à sua estabilidade ou instabilidade, seja ela natural ou induzida. Todo o procedimento ocorreu no ILWIS 3.4, com exceção do *layout* final das cartas geradas, que ocorreu no ArcMap 9.2. Desse modo, foi possível gerar a carta de fragilidade potencial dos solos na bacia, que é o resultado do cruzamento entre os mapas de declividade e de solos. Considerando que áreas com baixas declividades são menos suscetíveis a movimentos de massa do que aquelas elevadas, foram adotados graus de dissecação variando de muito fraco a muito forte, conforme mostrado no Quadro 2. Assim, com base no mapa de solos, foi feita sua reclassificação considerando a fragilidade para cada tipo de solo frente ao escoamento superficial de águas pluviais, variando de muito fraca a muito forte (Quadro 3). Para as unidades de solos compostas, formadas por dois ou mais tipos, foi considerada a fragilidade mais fraca entre ambos.

O mapa síntese, resultado do cruzamento dos mapas de declividade e solos, ocorreu após a elaboração de uma tabela bidimensional (Quadro 4), que corresponde à Carta de Fragilidade Potencial dos solos da bacia, conclusão da associação entre os graus de dissecação do relevo e os de fragilidade dos solos.

Em seguida, para cada tipo de uso das terras, foi definido um grau de proteção frente a movimentos degradacionais, variando desde proteção muito alta até muito baixa e nula (Quadro 5).

Por fim, a fim de elaborar a carta de fragilidade ambiental, foram cruzados os dados de fragilidade potencial com o grau de proteção que cada uso fornece ao solo, conforme mostrado no Quadro 6.

## Elaboração de cenários

Com relação à técnica de elaboração de cenários, a exploratória foi escolhida para uso, cujos principais aspectos são (GRISI, 2010): “concentra a atenção na análise dos processos de mudança; busca intuir os caminhos alternativos viáveis para o futuro, indentificando-se os *drivers* transformacionais e gera a visão de um conjunto de futuros alternativos e contrastantes”.

Portanto, foram selecionados três cenários considerados relevantes, projetados para 2020, denominados tendencial, manejo e conservação.

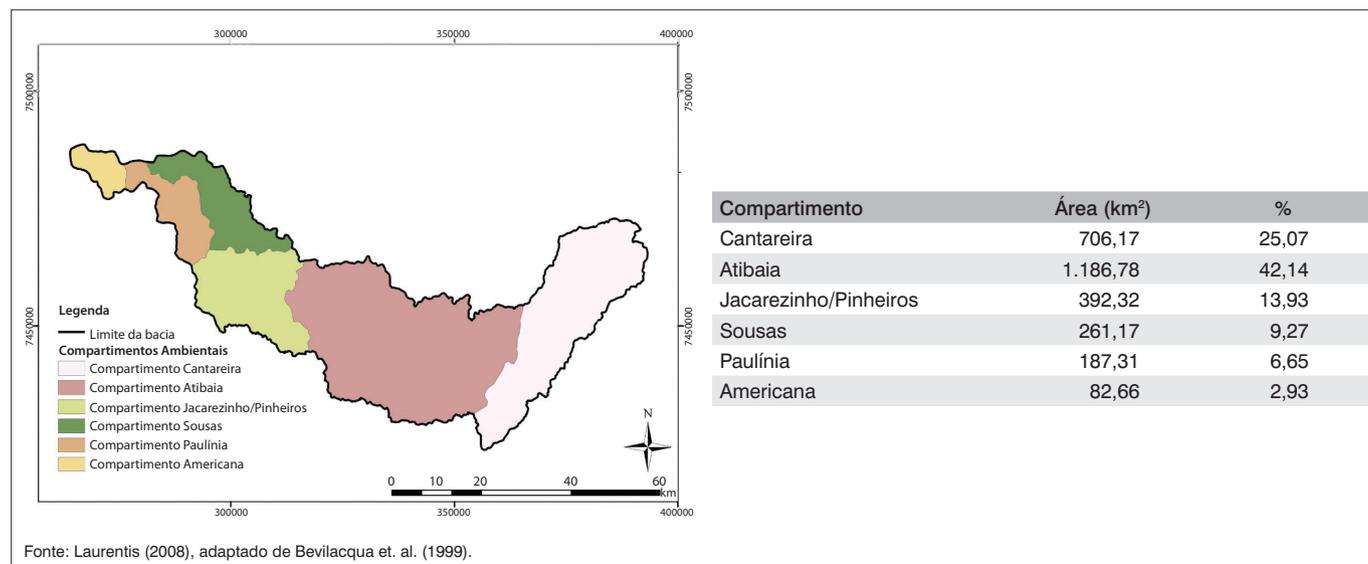
O cenário tendencial caracteriza-se como uma continuidade dos padrões observados no diagnóstico ambiental, em que não são contempladas medidas significativas voltadas à melhoria da qualidade ambiental e de vida. Ocorre num contexto de crescente degradação dos recursos naturais e crescimento populacional desordenado.

Com base nas estimativas de crescimento da população residente na bacia (CBH-PCJ, 2006), de 1,5% ao ano, foi obtida a

**Quadro 2 – Classes de declividade e grau de dissecação.**

Grau de dissecação	Declividade
Muito fraca	Até 6%
Fraca	Entre 6 e 12%
Média	Entre 12 e 20%
Forte	Entre 20 e 30%
Muito forte	Acima de 30%

Fonte: Ross (1994).



**Figura 2 – Mapa de compartimentos ambientais da bacia do rio Atibaia.**

densidade populacional e determinada a expectativa de crescimento da mancha urbana.

Para o abastecimento urbano de água, foi considerada a manufatura do consumo bruto por habitante de 390,5 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Já para o uso industrial, espera-se que a demanda se mantenha próxima à atual, devido a maior preocupação com medidas de produção mais limpa (P+L) e de reuso de água em processos; bem como em decorrência das legislações cada vez mais restritivas e à cobrança pelo uso da água implantado nas bacias Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ). É considerado, entretanto, um aumento de 50% no setor, devido à instalação de novas indústrias na bacia ou aquelas que não adotarem práticas de P+L.

Para o uso rural, predominantemente irrigação e dessedentação de animais, foi considerado um aumento de 20%, devido a incertezas relativas às mudanças climáticas e à possibilidade de ocorrência de maiores períodos de estiagem.

Para o tratamento do esgoto, que é considerado prioritário, estimou-se o índice de 70% devido à construção de novas estações de tratamento de esgotos (ETEs). O número de nascentes foi considerado o mesmo, dentro e fora das UCs.

Com relação à vegetação, segundo dados da Fundação SOS Mata Atlântica (SOS-MA; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE,

2008), de 2000 a 2005, a taxa de desmatamento no estado de São Paulo foi de 0,036% ao ano. Neste cenário, admite-se que toda a vegetação da bacia, exceto aquela sob proteção integral em UCs, está sujeita a desmatamento, pois podem ocorrer novos empreendimentos inseridos em áreas menos protegidas, como as áreas de proteção ambiental (APAs).

Em relação às áreas com fragilidade potencial dos solos, considerou-se que não ocorrerão mudanças decorrentes de alterações físicas significativas, no que diz respeito à pedologia e declividade.

Observou-se que as áreas desmatadas possuem fragilidade ambiental forte ou muito forte, e que a expansão urbana poderá transformar aquelas elevadas para fracas ou muito fracas. Considera-se, ainda, que não serão criadas novas UCs nos municípios, nem novos planos diretores serão elaborados ou conselhos de meio ambiente, implantados. Neste cenário, questões ambientais ficam em segundo plano, restritas ao tratamento dos esgotos.

**Quadro 5 – Grau de proteção da terra oferecido por seus usos.**

Grau de proteção	Uso
Muito alta	Área urbanizada, floresta
Alta	Pastagem, reflorestamento
Média	Área rural
Baixa	Solo parcialmente exposto
Muito baixa	Solo exposto
Nula	Lago/represa

Fonte: adaptado de Ross (1994).

**Quadro 3 – Fragilidade dos tipos de solo.**

Tipo de solo	Fragilidade
Latossolo vermelho com textura argilosa	Muito fraca
Latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa + argissolo vermelho-amarelo com textura argilosa	Muito fraca
Latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa + cambissolo com textura argilosa	Fraca
Argissolo vermelho-amarelo com textura média/argilosa e argilosa + argissolo vermelho com textura média/argilosa e argilosa	Média
Argissolo vermelho-amarelo com textura arenosa/média	Média
Argissolo vermelho-amarelo com textura arenosa/média e média/argilosa	Média
Argissolo vermelho-amarelo com textura arenosa/média + latossolo vermelho-amarelo com textura média	Média
Argissolo vermelho-amarelo com textura argilosa e média cascalhenta/argilosa	Média
Argissolo vermelho-amarelo com textura argilosa e média/argilosa + latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa	Média
Argissolo vermelho-amarelo com textura média + argissolo vermelho-amarelo com textura arenosa/média e média	Média
Argissolo vermelho-amarelo com textura média/argilosa e argilosa	Forte
Argissolo vermelho-amarelo com textura argilosa + cambissolo com textura argilosa e média	Forte
Argissolo vermelho-amarelo com textura média/argilosa e argilosa + cambissolo com textura argilosa e média	Forte
Cambissolo com textura argilosa	Forte
Cambissolo com textura argilosa + latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa	Forte
Gleissolo + argissolo vermelho-amarelo com textura média/argilosa + cambissolo com textura argilosa	Muito Forte

Fonte: adaptado de Ross (1994).

**Quadro 4 – Tabela bidimensional para obtenção da fragilidade potencial dos solos da bacia.**

		Grau de dissecação do relevo				
		Muito fraca	Fraca	Média	Forte	Muito forte
Graus de fragilidade dos solos por tipo	Muito fraca	Muito fraca	Fraca	Média	Forte	Muito forte
	Fraca	Fraca	Fraca	Média	Forte	Muito forte
	Média	Média	Média	Média	Forte	Muito forte
	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Muito forte
	Muito forte	Muito forte	Muito forte	Muito forte	Muito forte	Muito forte

Fonte: Laurentis (2008).

O cenário manejo foi caracterizado pela preservação dos recursos hídricos e foco na produção de água, por meio do manejo adequado da bacia hidrográfica, da conservação das nascentes e dos corpos d'água como um todo. Para sua elaboração foram mantidas tendências do cenário anterior a alguns indicadores, enquanto outros foram reavaliados.

A tendência de crescimento populacional e, conseqüentemente, da densidade populacional e da urbanização, foi mantida igual ao cenário tendencial, assim como as ações ambientais municipais. Dessa forma, probabilidades de consumo de água nos setores urbano, rural e industrial não seriam alteradas.

Alterações são projetadas na coleta e no tratamento do esgoto gerado, no qual o índice de coleta e de tratamento passou a ser de 90%.

O número total de nascentes, bem como daquelas que se encontram protegidas em UCs, deve permanecer, pois não são esperadas modificações físicas significativas na bacia, nem na proteção do território. Outro reflexo da ausência de modificações físicas na bacia está nas áreas de fragilidade potencial do solo, tanto na bacia toda como em APPs, as quais continuam semelhantes aos resultados obtidos no diagnóstico.

Por outro lado, as mudanças em relação ao cenário tendencial dizem respeito à vegetação. Apesar de mantida a taxa de desmatamento do cenário anterior, a diferença está nas áreas a serem desmatadas que, nesse caso, seriam apenas cobertas por vegetação sem qualquer tipo de proteção; não foi previsto, portanto, desmatamento em APPs nem em UCs.

Foi previsto que as APPs sejam totalmente reflorestadas, devido ao objetivo principal do planejamento neste cenário, que é a conservação dos recursos hídricos, totalizando 100% das áreas de APPs cobertas por vegetação nativa e/ou em regeneração. Sendo assim, apesar do crescimento populacional e do aumento da mancha urbana, a restauração de APPs contribuirá para a redução das áreas sob interferência antrópica, ocorrendo um crescimento da cobertura vegetal, devido às APPs reflorestadas. Provavelmente, as áreas com fragilidade ambiental forte e muito forte em APP resultantes do diagnóstico serão neutralizadas, devido à proteção muito alta do solo, fornecida pela vegetação.

Em UCs, a cobertura vegetal também ficará superior devido ao reflorestamento das APPs e, conseqüentemente, a vegetação protegida será maior. Porém, esse acréscimo se dará em áreas de UC de uso sustentável.

No cenário conservação, as prioridades consideradas são a recuperação e a conservação dos recursos hídricos e naturais. É uma

alternativa ao manejo, pois, além de contemplar a recuperação das APPs, são viabilizadas as UCs como áreas de conservação ambiental, diretamente relacionadas a melhorias nas qualidades ambiental e de vida. Assim, considera-se nulo o desmatamento da cobertura vegetal remanescente, seja sem proteção ou protegida em UCs ou APPs.

O crescimento populacional ocorrerá em taxas diferenciadas com o tempo. Num primeiro período, correspondente a 2009 e 2010, se manterá na tendência, com 1,5% ao ano. De 2011 a 2015 considera-se uma redução, caindo para 1,0% ao ano e, entre 2016 e 2020, projeta-se à taxa de 0,8% ao ano. Esta medida proporcionará alterações na densidade populacional e, conseqüentemente, no grau de urbanização e de intervenção antrópica na bacia como um todo.

Os usos da água também serão reduzidos, com medidas de conscientização da população quanto a seu uso racional. Portanto, o consumo urbano passará dos atuais 390,5 para 350 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.

Na indústria, o uso deverá se manter relativamente constante, uma vez que medidas de P+L também serão tomadas neste cenário. Mas será acrescentado ao setor um aumento de 20%, correspondente à instalação de novas indústrias. Esse valor é menor do que aquele considerado nos cenários anteriores, pois, neste caso, a restrição para o licenciamento e a operação de indústrias é mais restritiva, com o objetivo de reduzir a carga poluidora na bacia.

Para o uso rural de água deverá ocorrer redução de 20%, devido à adoção de práticas agrícolas sustentáveis, sendo elas: irrigação por gotejamento, plantio direto, eficiência dos sistemas de irrigação e redução de perdas. Além disso, foi considerado que 100% do esgoto gerado na bacia será coletado e tratado de maneira eficiente.

A quantidade de nascentes na bacia é considerada a mesma, pois não presume-se que sejam alterados os compartimentos ambientais da bacia nem as UCs.

A cobertura vegetal em APPs neste cenário também será recomendada, para melhoria da qualidade e proteção dos recursos hídricos; além de incrementar a produção de água e contribuir para o fluxo de espécies silvestres. Sendo assim, todos os cursos d'água e nascentes serão protegidos por vegetação, sem qualquer intervenção antrópica nessas áreas.

No restante da bacia foram previstas áreas que terão sua cobertura vegetal aumentada. Locais com fragilidade ambiental muito forte,

**Quadro 6** – Tabela bidimensional para obtenção da fragilidade ambiental.

		Grau de proteção da terra pelos usos				
		Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito baixa
Fragilidade potencial dos solos na bacia	Muito fraca	Muito fraca	Muito fraca	Fraca	Média	Forte
	Fraca	Muito fraca	Fraca	Média	Média	Forte
	Média	Muito fraca	Média	Média	Forte	Muito forte
	Forte	Fraca	Média	Forte	Forte	Muito forte
	Muito forte	Fraca	Média	Forte	Muito forte	Muito forte

Fonte: Laurentis (2008).

por exemplo, serão reflorestados em sua totalidade, reduzindo a fragilidade da bacia em relação a movimentos degradacionais, e aqueles com forte, localizados dentro de UCs, também, contribuindo para a melhoria na qualidade de vida da população na bacia. Cabe ainda contabilizar, no total de vegetação da bacia, as APPs que serão 100% recuperadas.

Em relação à fragilidade potencial dos solos, serão mantidos os valores obtidos no diagnóstico. Alterações ocorrerão na fragilidade ambiental, uma vez que em APP esses impactos serão neutralizados. Além disso, as áreas com fragilidade ambiental muito forte não mais existirão, restando apenas algumas com fragilidade ambiental forte fora da UC e da APP.

Neste cenário, todos os municípios da bacia terão seus conselhos de meio ambiente implantados e em funcionamento, bem como seus planos diretores regularizados e implantados.

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos principais parâmetros adotados em cada cenário.

## Discussão e Resultados

### Diagnóstico ambiental

Para o cálculo e a representação espacial da fragilidade potencial da bacia, foram levantados os tipos de solo e as classes de declividade presentes na área, uma vez que isso resulta da associação entre a

fragilidade dos solos e o grau de dissecação dos terrenos. Os resultados de tais levantamentos estão nas Tabelas 2 e 3.

Destaca-se a predominância de latossolos e argissolos na bacia. Tais solos apresentam, em sua maioria, declividades suaves; mas vale ressaltar que 18% apresentam declividades superiores a 20%.

O cruzamento entre as informações relacionadas à pedologia e ao grau de dissecação tem como produto as áreas e a carta de fragilidade potencial, mostradas na Figura 3.

Verificou-se uma elevada fragilidade potencial forte e muito forte, juntas representando 40% da região da bacia.

A intervenção antrópica é fator que pode agravar ou atenuar as condições morfodinâmicas potenciais apresentadas na carta de fragilidade potencial. Assim, para construção da carta ambiental, foram levantados os tipos de uso da terra na bacia e respectivos percentuais de área, sintetizados na Tabela 4.

É possível verificar que o uso rural predomina em mais de 50% do território, estendendo-se por 1.422,95 km<sup>2</sup>.

**Tabela 3** – Classes de declividade da bacia.

Declividade (%)	Área (km <sup>2</sup> )	%
0–6	1.604,97	56,99
6–12	292,57	10,39
12–20	401,35	14,25
20–30	125,20	4,45
Maior que 30	392,40	13,93

Fonte: Laurentis (2008).

**Tabela 1** – Parâmetros adotados nos cenários tendencial, manejo e conservação.

Cenário	População	Consumo de água urbano	Consumo de água industrial	Consumo de água rural	Índice de coleta e tratamento de esgotos (%)	Vegetação	Fragilidade ambiental
Tendencial	Taxa de 1,5% ao ano	390,5 L.hab <sup>-1</sup> . dia <sup>-1</sup>	Aumento de 50%	Aumento de 20%	70	Potencial desmatamento, exceto áreas de proteção integral	Igual diagnóstico
Manejo	Taxa de 1,5% ao ano	390,5 L.hab <sup>-1</sup> . dia <sup>-1</sup>	Aumento de 50%	Aumento de 20%	90	Sem desmatamento em APPs e UCs. Reflorestamento total das APPs.	Melhor que diagnóstico
Conservação	Até 2010 – 1,5% Até 2015 – 1,0% Até 2020 – 0,8%	350 L.hab <sup>-1</sup> . dia <sup>-1</sup>	Aumento de 20%	Diminuição de 20%	100	Desmatamento zero da vegetação remanescente. Revegetação de todos os cursos d'água e nascentes. 100% das APPs recuperadas	Áreas com fragilidade ambiental forte (dentro de UCs) e muito forte, totalmente reflorestadas

UC: unidades de conservação; APP: áreas de preservação permanente.

**Tabela 2** – Ocorrência dos principais solos por tipo na bacia.

Tipo de solo	Área (km <sup>2</sup> )	%
Latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa + argissolo vermelho-amarelo com textura argilosa	969,98	34,44
Argissolo vermelho-amarelo com textura média/argilosa e argilosa + cambissolo com textura argilosa e média	364,58	12,94
Argissolo vermelho-amarelo com textura média/argilosa e argilosa	280,96	9,98
Argissolo vermelho-amarelo com textura argilosa e média cascalhenta/argilosa	258,64	9,18
Latossolo vermelho com textura argilosa	255,39	9,07
Outros (inclui solo aluvial)	686,85	24,39

Fonte: Laurentis (2008).

A cobertura vegetal, representada por fragmentos de floresta nativa, matas ciliares e capoeiras, ocupa 27,54% do território. Áreas urbanizadas e industrializadas totalizam 12%. Salienta-se que cerca de 70% da bacia do rio Atibaia está sob intervenção de alguma atividade antrópica, seja de uso rural, urbano, silvicultura, pastagem ou solo exposto.

Apesar do alto grau de intervenção na bacia, é uma região ainda pouco urbanizada, uma vez que predominam usos agrícolas.

Destaca-se, ainda, a quantidade de remanescentes florestais, os quais totalizam mais de 25% da área total, devido principalmente às áreas de morros na região das cabeceiras que dificultam a ocupação, sendo, em geral, mantida a vegetação natural.

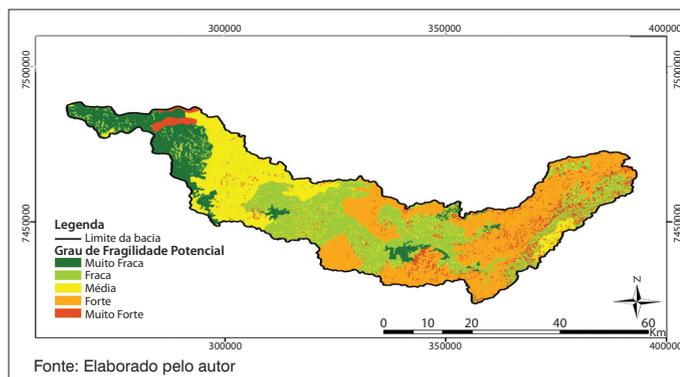
Ao analisar os dados de uso sob a ótica do grau de cuidado que conferem ao solo, 50,52% do território é utilizado para fins rurais,

garantindo média proteção ao solo. Usos representados por florestas nativas oferecem tratamento muito alto ao solo e são importantes contribuintes para a redução da instabilidade da bacia. Apenas 0,24% do território se caracterizam como muito baixo, nesse caso em

**Tabela 4** – Área correspondente a cada tipo de uso da terra na bacia.

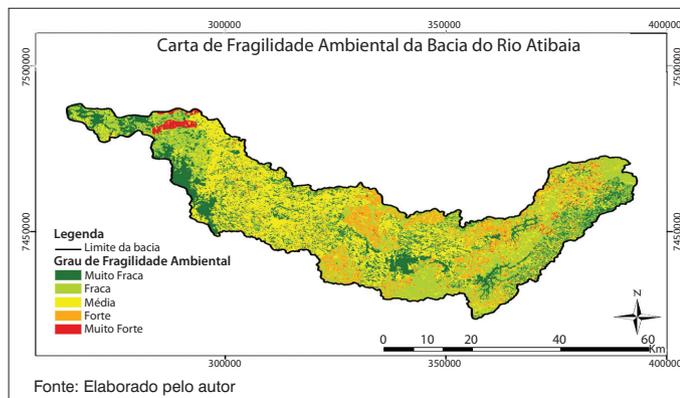
Uso	Área (km <sup>2</sup> )	%
Rural	1.422,95	50,52
Floresta	775,61	27,54
Urbanizado	337,18	11,97
Reflorestamento/silvicultura	153,40	5,45
Pastagem	86,94	3,09
Lago/represa	33,67	1,20
Solo exposto	6,77	0,24

Fonte: Laurentis (2008).



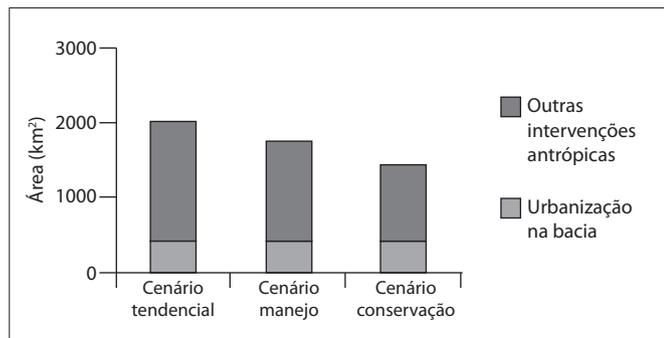
**Figura 3** – Fragilidade potencial da bacia do rio Atibaia.

Fragilidade potencial	Área (km <sup>2</sup> )	%
Muito fraca	361,92	12,85
Fraca	744,77	26,44
Média	580,85	20,62
Forte	899,01	31,92
Muito forte	229,85	8,16

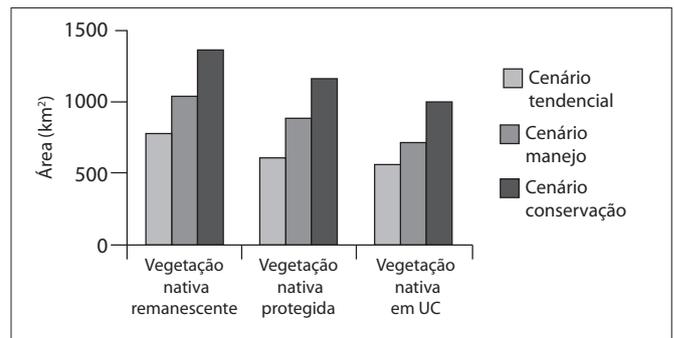


**Figura 4** – Fragilidade ambiental do rio Atibaia.

Fragilidade ambiental	Área (km <sup>2</sup> )	%
Muito fraca	617,28	21,92
Fraca	799,81	28,40
Média	951,67	33,79
Forte	354,84	12,60
Muito forte	92,80	3,29



**Figura 5** – Áreas urbanizadas de cada cenário.



**Figura 6** – Situação da vegetação em cada cenário.

decorrência do solo exposto. Esse número é inferior, pois esse uso é sazonal, até que outra atividade antrópica seja instalada no local.

Em relação à fragilidade ambiental diagnosticada, a Figura 4 mostra que predominam na bacia áreas medianamente frágeis, as quais ocupam 951,67 km<sup>2</sup> (33,79%). Regiões com fragilidades ambientais muito fraca e fraca ocupam 617,28 (21,92%) e 799,81 km<sup>2</sup> (28,4%), abrangendo quase 50% da bacia. No entanto, aquelas com fragilidade ambientais forte e muito forte representam 447,64 km<sup>2</sup> ou 15,89% da bacia.

## Prognóstico ambiental

A Figura 5 possibilita a observação das diferenças entre o total de intervenções para cada cenário, com destaque para as áreas urbanizadas de cada um deles, dentro do contexto de intervenção.

No cenário manejo prevalece o estresse hídrico e os processos de degradação, porém esses ocorrerão em menor intensidade devido ao manejo adequado das APPs. Tem-se a preservação dos corpos d'água e, conseqüentemente, dos mananciais de abastecimento público, além de haver um incremento significativo na área de vegetação da bacia devido ao reflorestamento das APPs.

No conservação, ocorre a potencialização dos aspectos ambientais e a conscientização da sociedade frente aos problemas ambientais. Há a recomposição florestal em APPs e em áreas instáveis, cuja fragilidade ambiental é forte ou muito forte, auxiliando significativamente na manutenção dos processos ecológicos, na

conservação ambiental e na melhoria na qualidade ambiental e de vida dos habitantes da bacia.

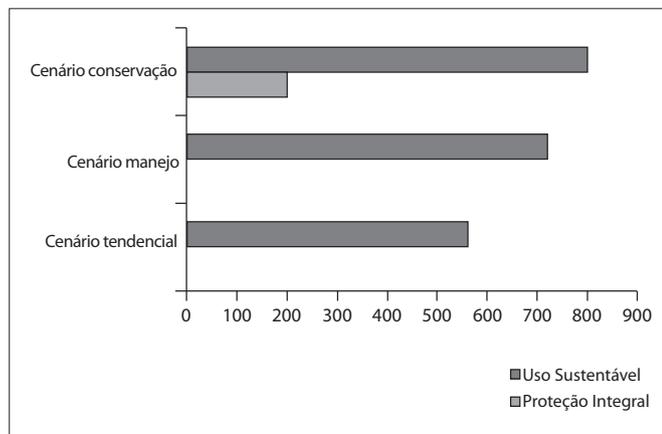
A recomposição florestal garante aos cenários manejo e conservação aumentos significativos em relação às áreas cobertas com vegetação natural e, portanto, no total de vegetação sob proteção na bacia, como mostra a Figura 6, que permite a comparação entre os indicadores vegetação nativa remanescente, vegetação nativa protegida e vegetação nativa em UC, dentro dos três cenários.

As mudanças na cobertura vegetal em cada cenário também interferem na quantidade de vegetação dentro das áreas protegidas, especificamente as UCs. O que se deve levar em conta, nesses casos, é o tipo de proteção sob o qual se encontram.

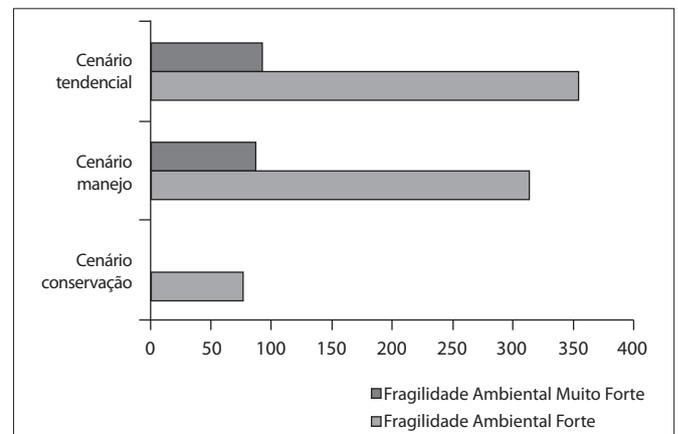
Apesar de expressiva para qualquer um dos cenários, a proteção somente ocorrerá de forma efetiva no cenário conservação, no qual 20% do total de vegetação protegida em UCs se encontrará sob proteção integral. Nos outros cenários este tipo atinge valores insuficientes, inferiores a 1%, como mostra a Figura 7.

Quanto à cobertura vegetal dos compartimentos ambientais, destacam-se o Atibaia e o Cantareira, por possuírem as maiores áreas florestais, como mostra a Figura 8. Nota-se que, apenas no cenário tendencial, a maior cobertura fica no compartimento Cantareira, sendo que nos outros ocorre no Atibaia.

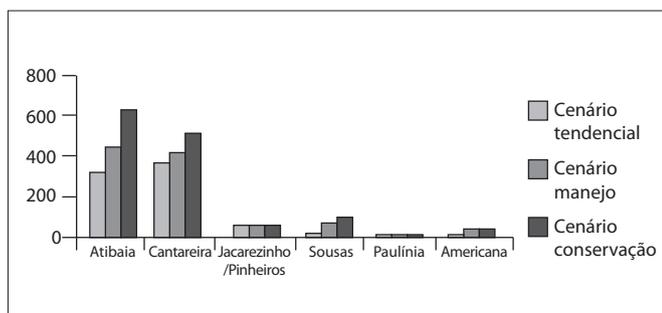
A fragilidade ambiental demonstra variações segundo os indicadores para cada cenário, baseada nos resultados do diagnóstico, conforme a Figura 9.



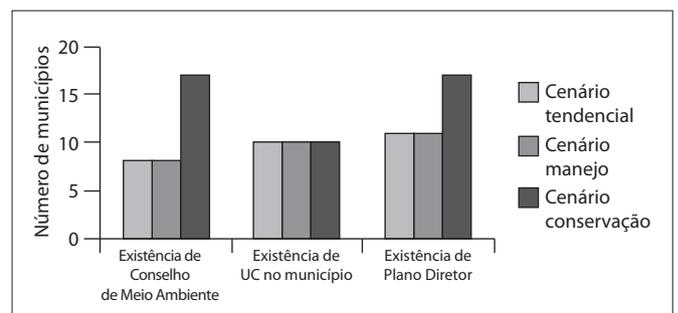
**Figura 7** – Área protegida por tipo da unidade de conservação em cada cenário.



**Figura 9** – Fragilidade ambiental forte e muito forte em cada cenário.



**Figura 8** – Cobertura vegetal nos compartimentos em cada cenário.



**Figura 10** – Ações municipais em cada cenário.

Por fim, os resultados de um cenário, seja ele qual for, são reflexos de diversos fatores, entre eles as ações municipais. Alterações ambientais, tanto de recuperação como de conservação, não ocorrerão se não tiverem como base medidas coerentes e eficazes, ratificadas pelos municípios.

A síntese das informações, levando-se em conta as ações municipais na bacia para cada cenário, é apresentada na Figura 10. Somente no cenário conservação os melhores resultados foram obtidos.

A primeira medida relacionada à melhoria dos aspectos ambientais e que ocorre pouco na bacia é a implantação dos Conselhos de Meio Ambiente Municipais, nos quais são discutidos assuntos que abrangem diferentes segmentos dentro da temática ambiental na qual cada cidade se insere. Ao possuir um deles implantado e regularmente funcionando, os municípios demonstram interesse frente às questões ambientais.

Outras medidas importantes se referem à elaboração de planos diretores, os quais ordenam a ocupação do território e a existência de UCs dentro dos limites dos locais, o que demonstra a anuência de cada um em favor da conservação ambiental dentro de seus domínios.

## Conclusões

A análise dos resultados obtidos no diagnóstico ambiental a partir da metodologia aplicada permite concluir que, apesar de relativamente pouco urbanizada, a bacia hidrográfica do rio Atibaia encontra-se em processo de degradação ambiental. Contribuem para esse quadro, além do alto grau de intervenção antrópica na bacia, principalmente nas APPs, os elevados valores do consumo de água e os despejos de efluentes domésticos, que promovem a deterioração dos corpos d'água.

Apesar das áreas cobertas por vegetação natural apresentarem um valor relativamente alto, sua distribuição espacial não é homogênea, concentrando-se nas cabeceiras dos cursos d'água.

É necessária a adoção de medidas de recuperação das APPs, principalmente em zonas urbanas, como primeira ação de recomposição florestal, para depois pensar sobre a conservação ambiental.

Os indicadores selecionados foram representados tanto no diagnóstico quanto na elaboração dos cenários propostos.

Quanto aos cenários elaborados, Conservação obteve os melhores resultados, do ponto de vista de melhoria da qualidade ambiental. Isso porque não é inviabilizada a ocupação humana, porém esta ocorre de forma mais sustentável e organizada. Ao mesmo tempo, foram mantidos os processos ecológicos, o que demonstra que é possível pensar em conservação ambiental em bacias hidrográficas urbanizadas, desde que estas venham a ser manejadas de forma adequada.

Como técnica, a metodologia aplicada se presta a uma análise ambiental ampla, que vai além dos inventários retratados nos atuais relatórios e planos de bacias hidrográficas. Por outro lado, trata-se de uma ferramenta cuja aplicação pode não estar isenta de distorções e subjetividade por parte daqueles que a aplicam, como alerta Ab'Sáber (1998):

“Técnicos e especialistas, ainda que bem preparados, não têm poder para, isoladamente, transformar a estrutura da sociedade, mas têm força para exigir seriedade e melhorias na organização dos espaços para os quais se endereçam projetos ditos desenvolvimentistas. Para tanto, basta utilizar bem a legislação existente, com base em bons conhecimentos e corretas estratégias de monitoramento e gerenciamento.”

## Referências

- AB'SÁBER, A.N. (1998) Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In: PLATEMBERG, C.M. & AB'SÁBER, A.N. (orgs.). *Previsão de impactos*. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 208-222.
- BEVILACQUA, J.E.; MENEGON JR., N.; BRESSAN JR., H. (1999) *Bacia do Rio Atibaia: Relatório Técnico Preliminar*. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (1965) Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1965. *Institui o novo Código Florestal Brasileiro*. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 12 out. 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (2000) Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. *Cria o Sistema Nacional de Unidades de Conservação SNUC*. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 12 out. 2010.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (CBH-PCJ). (2006) *Plano de Bacias Hidrográficas 2004-2007 dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí*. Relatório Final. Disponível em: <www.comitepcj.sp.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2010.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). (2007) *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo*. São Paulo, Série Relatórios/CETESB.
- CONFORTI, T.B.; LAURENTIS, G.L.; ADAMI, S. (2008) A conservação da biodiversidade na Região Metropolitana de Campinas. In: *Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*, 60., Campinas, São Paulo.
- CONFORTI, T.B.; LUCA, A.Q.; CISOTTO, M.F.; LAURENTIS, G.L. (2008) Indicadores de efetividade das unidades de conservação das bacias do PCJ. *ENANPPAS – Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade*, 4., Brasília, Distrito Federal.
- DUARTE NETO, E. (2005) *Gestão integrada dos recursos hídricos: saneamento básico na área metropolitana da sub-bacia do Rio Atibaia*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS (IRRIGART). (2004) *Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: Situação dos Recursos Hídricos 2002/2003*. Relatório Final. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBH-PCJ.

ENGENHARIA E CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS (IRRIGART). (2007) *Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá: Situação dos Recursos Hídricos 2004/2006*. Relatório Síntese. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBH-PCJ.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (SOSMA/INPE); HIROTA, M.M.; PONZONI, F.J. (2008) *Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica – período 2000-2005*. Ponzoni. São Paulo: SOSMA/INPE.

GRISI, C.C.H. (2010) *Técnica de Cenários e o Método Delphi: uma aplicação para o ambiente brasileiro*. Disponível em: <[www.ead.fea.usp.br/semead/6semead/mkt](http://www.ead.fea.usp.br/semead/6semead/mkt)>. Acesso em: 15 fev. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (1983) *Cartas do Brasil*. 1:50.000. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 18 nov. 2010.

LAURENTIS, G.L. (2008) *Elaboração de cenários como suporte ao planejamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Atibaia*. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Ambiental, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. (1999) *Mapa pedológico do Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). (1993) *Environmental indicators for environmental performance reviews*. Paris. Disponível em: <[www.oecd.org](http://www.oecd.org)>. Acesso em: 20 nov. 2010.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). (2003) *OECD environmental indicators: development, measurement and use*. Paris. Disponível em: <[www.oecd.org](http://www.oecd.org)>. Acesso em: 20 nov. 2010.

ROSS, J.L.S. (1994) Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 8, p. 63-74.

ROSS, J.L.S. (2007) *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. 8 ed. São Paulo: Contexto.

SIMI, R.; SIMI JUNIOR, R.; SIMI NETO, R. (2007) Corredor Ecológico e Zoneamento Ambiental para criação de Unidade Territorial auxiliado por um SIG. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13., Florianópolis, Santa Catarina.

TRICART, J. (1977) *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN.

WHATELY, M. (2007) *Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo: Instituto Socioambiental.